現代科學進化史

目錄

現代科學進化史

第一章　總論

昔賢培根(Francis Bacon)與笛卡兒(René Descartes)皆謂人類智識，爲有機體，生長發達，具有機能；譬諸樹：眞理研究，根柢也；種種科學，枝幹杈枒也。故科學之爲物，前進的，非固定的；動力的，非靜力的。今日之灼爛明煥，蔚爲大觀，豈果一蹴所可幾乎？其源極遠，其程極長，從萌芽以迄乎長成，有日光照臨焉，雨露潤澤焉，亦有暴風驟雨之摧殘焉。察其如何滋長，如何發揮光大者，則爲研究科學進化史所有事，是誠一極有趣味之探求也。

現代科學，從表面觀察，一十七八世紀來之產物耳。但其由來遙乎邈哉！亦猶由動物進化以至近世之人類，正不知其已閱幾千萬年也。談現代科學進化者，輒溯源希臘(Greece)。

希臘科學，又多來自巴比倫尼亞（Babylonia）與埃及（Egypt）。源遠流長，歷久彌光，而不誣也。

赫克爾（Ernst Haeckel）生物發生律（biogenetic law）：謂個體發達，適為全族發達之一縮影。舉援人類，亦自吻合。其由草昧而進文明，與自孩提而至成人，又何以異？孩提之童，率好奇懷疑喜異，而古代人類亦然。於是晝夜之往來也，生死之遞嬗也，疾病康健之互為長雄也，以及日月星辰之麗於天，風雲雷雨之發乎深山大澤，莫不羣以為奇，思所以求其最簡易最自然之答案。由好奇心而涉及人生禍福，尤為人所注意。巴比倫尼亞與埃及之天算所以獨早萌芽者，此其一因也。巴國位幼發拉的（Euphrates）底格里斯(Tigris)兩河間，埃國濱尼羅（Nile）河沿岸，均以農立國，欲適應實際之需要，必求天算之知識。每當四月，此幼底兩河者，受亞美尼亞（Armenia）諸山積雪之融溶下注而遂泛濫，至六月乃始遽然退去，巴國之民，不得不觀察天象變遷，以定民事耕耘收穫之期。埃及尼羅河，亦年泛一次；田疇淹沒，隴塍都無，不行重丈，界域何明，此更有需乎幾何學。詮釋西文幾何之字，原係

量地之義也。

雖然，之二古國者，其自然知識，在科學進化史上，僅屬片段的發現，以言系統，當讓希臘。希臘人一掃往昔工具觀念，故其研究科學也，為真理非為應用。米利都（Miletus）者，希臘文物最盛之區也，七賢巨擘退利斯（Thales c. 640—546 B. C.），實生於此。此氏為首欲觀察自然現象以推見全體之一人。其以水為宇宙根本要素也，頗思於變中求常，於萬殊現象中求一以貫之之原則，所謂理一分殊是也。繼之者有亞諾芝曼尼（Anaximenes c. 588—524 B. C.），有赫拉頡利圖斯（Heraclitus c. 540—475 B. C.），有琉息帕斯（Leucippus c. 460 B. C.）有恩拍多克利（Empedocles c. 455 B. C.），有德謨頡利圖（Democritus c. 460—370 B. C.）。其論萬有之原，亞氏謂之風，赫氏謂之火，琉氏謂之地，恩氏更以地水風火當之，所謂四大原素（elements）也。而德氏則又以不可見之微質或原子（atom），為一切現象之基礎。此種抽象的推論，尋原窮委的趨勢，與夫整齊畫一的觀念，謂非俱胚胎於退利斯得耶！其有功於學術界蓋如是。

退氏於天算，頗有所發見；能預測日蝕之期，認知月非發光之體，並應用三角之理，從金字塔之陰影，以求得其高度。但幾何學基礎之確立，乃不得不歸功畢達哥拉斯（Pythagoras c. 582—500 B. C.）。畢氏有「勾方加股方等於弦方」定律之發明，旣精算學，又於物理學上亦多貢獻。聞打鐵之聲，即悟音之高低與弦之長短爲正比；如弦長爲 2, 3, 及 4，即可得一樂音（tone），及其第五（fifth）第八(octave)二音，此物理實驗之權輿也。

紀元前四八〇年，薛西斯（Xerxes）戰勝波斯（Persia）後，雅典遂起執希臘諸邦牛耳。商業繁興，富庶無比，民生燕娛，人長安佚，乃皆從事於學問。於是文學美術頓有蓬勃之觀。即以科學言，雖當時尙以無特殊儀器，足資攻進，較諸文藝自然遜色，然算學科學，亦未嘗無所發明也。

斯時醫學一科，尙未成立，故人有疾病，治療方法，一惟祈禱。及希波革拉第(Hippocrates c. 460 B. C.）出，始以疾病爲自然的現象，而非超自然的 (supernatural) 現象，乃諄諄詔人以注意病人本身的觀察與研究。氏又謂人有自然治療的能力（vis medicatrix

naturæ)；苟有疾病，能自攝養，固無需乎湯藥。後世尊爲醫學鼻祖，良非無故。

伯羅奔尼撒戰爭（Peloponnesian War 431—404 B. C.）後，雅典在政治上既失重心，乃發致力於學術。於是哲學大家，如柏拉圖（Plato 427—347 B. C.），亞理斯多德（Aristotle 384—322 B. C.）等相繼輩出矣。初，希臘哲學，惟就地球星體與宇宙等，加以探討，換言之，即一種自然的哲學（"nature" philosophy）也。自柏氏出後，旨趣變易，其大部乃注重於心性之觀察與推理。柏氏嘗謂：官覺惑人，應專着力於意象。居恆榜其門曰：「不諳幾何者，毋入此內；」雖其注重算學的本意，全爲訓練意想之正確，而後世算學的哲學（philosophy of mathematics），乃實自此發軔矣。柏氏高足，亞理斯多德創演繹（deductive）之法，而邏輯學（logic）始趨入條理之途。亞氏雖主實物本體（reality of concrete things）論，同時亦兼取其師之長。嘗謂：科學之爲物，在求事物之共相，非求事物之各相，故必須先立普通原則，而後可返求諸實物。又謂：在求解答以前，務先認清事實；設所擬學說，與所觀察事實，不能銖兩悉稱也，亦惟棄所擬而就所觀察之爲得。此種主張，亞氏亦

有時不克躬自實行。其倡導墮物速率與其重量成正比也，則去真理，未免甚遠。又氏於天文，主張地球中居宇宙，靜止不動，而日月星辰，皆環拱以行，殊屬迂拙。雖然，氏之好奇的，懷疑的，率真的精神，亦大足為後世學者所取法，未可一律少焉。

自紀元前三三〇年，亞歷山大（Alexander）征服希臘，希臘文物，乃移植於埃及。其新都亞歷山大里亞（Alexandria），繁華壯麗，盛極一時。有學術院（Museum）焉，建於紀元前三〇〇年之際，中供學術之神（Muses），以為表率，規模壯大，藏書宏富，各方碩儒名宿，咸來講學，遂成文化中心，歷七百年不衰。其最傑出之科學家，有歐幾里得（Euclid c. 330—275 B. C.）焉，有阿基米得（Archimedes 287—212 B. C.）焉，有喜帕卡斯（Hipparchus c. 146—126 B. C.）焉，有托拉密（Ptolemy c. 140 A. D.）焉。歐氏著書十三卷，實集幾何學之大成，數千年來研究算學者，莫不宗之。阿氏精算學，且諳工程，而浮力之發見，功且與牛頓（Newton）相埒。喜氏既創春秋分變遷（precession of equinoxes）之論矣，又因有補於天文之觀察，而有三角學之發明。托氏搜集當時流行諸天文學

說加以討論，成叢書（Almagest or Syntaxis）八卷，確立地球中心說（geocentrical heory），而以周轉圓（epicycles）說明星體之運行，即所謂托拉密系（Ptolemaic system of astronomy）是也。

總之，現代科學基礎，希臘人實築成之。其對於自然現象，輒爲自由的探討，唯理的詮解，益以證實根據，再三觀察，有條理，有系統，雖時時運用演繹，以資研求，亦惟人人共認之原則是承，蓋已具有眞正研究科學的方法矣。

希臘衰替，羅馬（Rome）代起。羅馬者，意大利半島中古國也。其人重實際，上功利，眞正的科學興趣，乃不重視，故在學術界中，求其能如亞理斯多德或柏拉圖之科學哲學大家，喜帕卡斯或托拉密之天文家，阿基米得之算學發明家，德謨頡利圖之自然哲學家，希波革拉第之醫學先進，蓋渺不可得，惟軍事學及土木工程，乃多所發明耳。於時有建築大家維特魯維阿（Vitruvius 85—26 B. C.），著建築學（De Architectura）十卷，中古工程學者，咸奉爲宗範。有夫龍提那斯（Frontinus c. 40—103 A. D.），搜集關於羅馬城自

來水工程的程序與材料勒成一書，亦爲不可多得之著作。其在科學史上差足稱邁者：一爲普林尼（Pliny the Elder 23—79 A. D.）以先見船桅，後見船身，證明地爲球形；一爲格林（Galen c. 130 A. D.），解剖動物，以研究其神經之作用，著作甚富，於解剖學上亦頗重要焉。

羅馬式微，蠻族來侵，古代文物，備遭蹂躪。然自基督教東來，君士坦丁帝（Emperor Constantine）以爲國教後，教勢日盛，科學更就凌夷。當是時咸以爲有耶教福音之默示，科學的探討，實等贅疣，而聖經上一字一句，均奉爲金科玉律，未敢稍持異議。以故爲科學而求科學者，竟至闃其無人，而宗教上一種僞科學（pseudo science）的學說，漸以形成，此尤爲眞科學進程上之一大障礙。

羅馬陷落，甫及半稘，查士丁尼帝（Emperor Justinian）乃通令全國，封閉學校，凡希臘之所探討者，禁不許問，而其人民乃惟基督神學之是奉。昔日燦爛莊嚴之文化，遂致漫漫長夜，莫睹光明，亘歷三世紀，一無進展，即史稱爲黑暗時代（Dark Ages）者是。至第八

世紀末葉，查理大帝（Charles the Great）始命重建學校，附麗各寺，以教神學，兼及文學算學音學等科。但其執成見，忽實驗，務繁瑣，蔑原理，相沿成風，卽非不利於科學，寧得有輔於科學！以此為學，其不能發達，不待言矣。

雖然，自黑暗時代，以迄西歐文藝復興，時亦久矣，而希臘文化，終得保存，不至滅絕。間嘗考之，亦有數因：其一，古代學術，雖經政治軍事之紛擾，其小部份仍得直接流傳於意大利；其二，摩爾人（Moors）侵入西班牙（Spain），因得間接傳來；其三，由君士坦丁堡（Constantinople），經意大利，輾轉輸入，故雖遭莫大劫運，而餘風遺韻，不致盡泯。吾人於此，不得不一述阿剌伯之科學。

穆罕默德（Mohammed）於六二二年，自麥加（Mecca）逃至麥地那（Medina），不十載，其門徒已盡為宗教狂熱所驅使，而創建強有力的國家於阿剌伯半島（Arabian peninsula）之上；而敍利亞（Syrie），美索不達米（Mesopotamia），波斯（Distant Persia），北非洲（North Africa）及西班牙半島等亦以次征服。至七五五年，其國又分

爲二一以巴格達（Bagdad）爲首都，一以西班牙之哥多華（Cordova）爲首都。其在西班牙者非純粹之阿剌伯種，雜有北非洲之摩里得尼亞（Mauretania）人，故稱爲摩爾人云。

巴格達位於幼發拉的河上，東介印度，西毗希臘，之兩國者，皆古代文化中心也，耳濡目染，成就益宏。其最初所研究者，大都爲算學及醫學，繼攻亞理斯多德學說，而有東方的亞理斯多德派（Orientalized Aristotelianism）之創立。溯自查士丁尼帝封閉學校以來，希臘書籍，盡散國外，阿剌伯各君主，宏搜廣集，大事譯述。亞理斯多德之巨著，在亞魯瑪蒙(Caliph Al-Mamun)時代譯成，而天算醫學等科，亦均有譯本，流行於世。其在巴格達建設之科學院（House of Science），附有圖書館與觀象臺。又於中國印度，亦時有所取材。學術之盛，莫可與京。其時亞爾科里斯邁（Alkarismi）任職觀象臺，校閱托拉密之著作，於八三〇年成代數學（Algebra）一書，大爲後世所誦法。有奧爾哈增（Al-Hazen 965—1038 A. D.）於光學造詣頗深，反射定律（law of reflection），彼實創之。且研究球形與

拋物形之鏡，而知靈視（lenses）有擴大之力。是殆爲光學之鼻祖焉。

自亞歷山大里亞被奪於阿剌伯，學者大半走集君士坦丁堡，斯時也，干戈雲擾，人心不寧，委心學術者寡，雖有老宿，何濟於事。及摩爾人侵西班牙而據之，實挾阿剌伯之文化以俱來。九十兩紀學術之盛，首當推此，基教諸國，咸望塵莫及。故當時之西班牙，可稱爲回教科學的黃金時代云。

雖然，阿剌伯人亦何嘗眞好科學哉。喜玄驚幻，是其特性，凡百事物，一與接觸，卽含有神祕氣味。其習天文也，則流爲術數占卜；其習醫學也，則放爲金丹呪祝；其習化學也，亦借爲求長生致富有之塗術。雖其間或有所發明，而科學眞指，爲所失去，蓋不少矣。

西班牙文化之將衰也，歐洲內部，以受十字軍東征之影響，頓有革故鼎新之觀，蓬蓬勃勃，不可一世。蓋軍行所至，接觸生焉，眼界爲所擴大，思想爲所激變，而篤學之念好奇之心，因以大盛。在十一二兩世紀，昔日僧侶的學校，漸形成近世之大學，如巴黎（Paris），波倫亞（Bologna）撒列諾（Salerno），鄂斯福（Oxford），闊布里治（Cambridge）等處

均是。雖其初稔，多攻邏輯哲學及神學，而未嘗注意於科學，然而一線曙光，實由此而起矣。

羅馬人於科學本少發明，其著作家所援引而參證者，一出希臘。智慾既啓，直接閱讀之念，自漸發生。雖希臘原稿，不可求得，而阿剌伯譯本，固儼然在焉。十二世紀間，希臘典籍，漸由阿剌伯文譯出，職是故也。托勒密叢書，既經譯爲拉丁文，而歐幾里德幾何原理(Elements)在十一世紀已有譯本，其首十五卷，在十四紀以前，有多處大學，且已用爲教本矣。求知熱誠，蓬勃一時，誠爲前數世紀所未有也。

在此時期，科學家之翹楚，當推羅哲爾培根 (Roger Bacon 1214—1294)。羅氏謂：求知不外二途，實驗與辨論是也。辨論也者，問題之解決賴焉；苟能辨，又可令人不得不承認焉。但是術也，祇憑口說，未有實證，以云心安理得，戛乎其難，故眞理之發見，舍實驗末由。卽如由原理推得之算學結果，雖似無需乎實驗，然無實驗，眞正的觀念亦不能得。試舉等邊三角形爲例，無論講解如何明晰，亦不過爲一種想像的信念耳。若作相交二圓，而於其交點至一直線之二端，畫二直線，其印象乃深入於腦海，而絕無懷疑之餘地。故氏提倡實驗科學 (ex-

perimental science）其功用惟證實（verification）一語，足以盡之。雖不爲當世所容，致遭縲絏，然其貢獻於後來之科學界者，實非淺鮮。

是時各國大學中，最重要之書，除聖經外，厥惟亞理斯多德氏各著作，足徵其在智識界勢力之偉大。但大都譯自阿剌伯文，其間未免錯誤百出，且加以回教與基教之曲解附會，其眞義全已失去，乃大不利於科學之進步。

文藝復興運動，實開始於意人佩脫拉克（Petrarch 1304—1374）。佩氏以崇古的精神，作澈底之研究，搜集古籍，保存古跡，提倡古文字，綜其生平，惟古是崇。然佩氏之崇古也，一以「人」爲中心，決不肯以古學附會聖經，因之希臘學術，始漸漸重放光明矣。又君士坦丁堡被陷後，學者抱殘守缺，俱逃意國，由是希臘原稿，遂爲世人所重見，而思想自爲一變。至其他如火藥羅盤針及印書術，更藉阿剌伯人之手，由中國以達於歐西，而用兵航海讀書之法，皆闢一新天地。及哥倫布（Columbus）發見新大陸，馬丁路得（Martin Luther）改革基督教，人心大爲解放，革新之機，尤磅礴而不可過矣。

中國之羅盤針，(註一) 發明最古，黃帝時，卽有司南車之製。印版 (註二) 始於後唐長興中，活版創於宋慶曆中。火藥 (註三) 之爲用，隋時業已大著。以言天算，發達亦極早。試略述之。史記曰：黃帝起消息，正閏餘。虞書曰：期三百有六旬有六日，以閏月定四時成歲。孔氏注云：一歲十二月，月三十日，正三百六十日。除小月六爲六日，是爲一歲有餘十二日。未盈三歲，足得一月，則置閏焉。此爲最初之定閏法。歐洲朱理歷法 (Julian calendar)，三百六十五日四分日之一，每四歲之小餘成一日。考諸中國，與周髀所載「三百六十五日者三，三百六十六日者一」之制正相同。周髀謂：地法覆槃，滂沱四隤而下。大戴禮曾子謂：如誠天圓而地方，則是四角之不揜也。此主地圓之說者。易乾鑿度謂：坤母運軸。書考靈耀謂：地恆動不止，而人不知；譬如人在大舟中，閉牖而坐，舟行而人不覺。此又唱地動之說者。漢時談天體者有三家，一曰蓋天，(註四) 謂天如蓋盆，以斗極爲中，中高四邊下，日月旁行遶之，日近見之爲晝，日遠不見爲夜。二曰宣夜，(註五) 虞喜曰：宣明也，夜幽也，其術兼幽明之數。郄萌記曰：天無質，仰而瞻之，高遠無極，眼瞀清絕，故蒼蒼然也。日月星辰，浮生虛空之中，其行其止，皆須氣焉。三

曰渾天，葛洪曰：天形如雞子，地如其黃，地居天內，天大地小。蓋天宣夜均不傳，獨渾天之法，世爲臺官所宗。至張衡之渾天儀，虞喜之歲差法，在天文史上頗有價值。元初靈臺觀測用器之精，尤爲當時歐洲各國所望塵莫及。乃學者狃於成見，六合之外，存而不論，惟疇人子弟，官宿其業，致天文之學，未能盡量發展，甚可惜也。

中國算學，在紀元前十一世紀，已極發達，近今流傳諸書，以周髀算經及九章算術爲最古。周髀以勾股之法，度天地之高厚，推日月之運行，而得其度數。其首章述周公與商高問答，實勾股之鼻祖。勾廣三，股修四，徑隅五。既方其外，半其一矩，環而共盤，得成三，四，五。趙君卿曰：勾股各自乘，併之，爲弦實，開方除之，卽弦也。九章算術爲周禮保氏之遺法。劉徽曰：周公制禮，而有九數，九數之流，則九章是矣。一方田，以御田疇界域；二粟米，以御交易變巽；三衰分，以御貴賤稟稅；四少廣，以御積冪方圓；五商功，以御功程積實；六均輸，以御遠近勞費；七盈不足，以御隱雜互見；八方程，以御錯糅正負；九勾股，以御高深廣遠。實均人事必需之算法。繼之者有孫子算經，魏劉徽之海島算經，唐王孝通之緝古算經等，對於平方根立方根比例諸法，各有

所闡明。宋秦九韶著數書九章，元李冶著測圓海鏡及益古演段，解答方程，大爲進步，於是有天元一術。成宗時朱世傑之四元玉鑑出版，中國算學殆已達登峯造極之境，嗣後日就衰替，罕有發明。歐法輸入，亦僅致力於圓周率之測定，數方程之解法，及對數論之探討而已。

中世紀千年間，全歐人心見拘宗教，無自由之可言，目無所見，口無所道，甚不幸也。文藝復興，黯蔽漸去，昏迷漸除，其努力奮鬬以脫教會之羈絆者，厥以德國之宗教改革爲最先。德人挾其宗教上獨立自由的審判之新慾望，以探討科學之眞諦，而哥白尼（Copernicus）刻卜勒（Kepler）里替卡斯（Rheticus）輩，乃相繼而出，遂執科學界之牛耳。意大利者，文藝復興發軔地也，文學美術與科學，亦頓呈光明燦爛之觀，他邦難與抗衡而爭席。斯時英法二國，乃皆未聞有所謂大科學家之產生。此其故，蓋因物質的興盛亦爲科學進步之要素；生計窘迫，何暇研求學問？當時德意二國商務繁盛，人民富庶，宜其好學之風，遠勝他國也。

希臘之天文學，至喜帕卡斯與托勒密，可謂已甚發達，惟欲於百尺竿頭，再進一層，非備具三條件不可。一須得更精良之儀器，而又以愼密及長時期的觀察行之方可。二須改良計

算方法，以爲解釋及歸納諸觀察之用。三關於運動的基本事實及定律，須有澈底明瞭之觀念。此三條件，至十六十七兩世紀，乃得一一實行，亦因以占科學史上最生色之篇幅焉。

自羅盤針傳入歐洲，航海術特爲孟晉，於是人人咸有精密天文表之必要。而教會中人，以舊歷法未能完備，故於天象研究，頗饒興味。於是有哥白尼（Copernicus 1473—1543）者出，天文界乃爲起大革命矣。哥氏曾負笈意大利，古代天體運動諸說，凡爲托勒密等所服膺者，氏頗滋懷疑。殫精覃思，深考其故，乃創日球中心說焉。其言曰：人見天體，彷彿繞地而行，自東至西者，實地球之繞軸自行，由西至東也。時宗教觀念，猶牢不可破，亞理斯多德派又當盛行，故氏雖創是說，深恐與世相忤，終其身未敢自行公布。且哥白尼者，富於理想，精於算學，而實疏於觀察之人也。故此新學說之風行，尙有待於實際之證驗，則第谷布剌尼（Tycho Brahe 1546—1601）之發揮光大，有多足者。第谷任職天文臺（Uraniborg）垂二十年，曾集當時藝術專家及鐘表匠金木工匠等，製成種種工緻的儀器，於是觀察之精密，實爲從前所未有。氏於哥白尼之新學說，未敢遽予輕信，因有天文學進步全賴堅忍的觀測之認定。

托勒密學說之弱點，彼亦知之，故主張行星繞日天體繞地，以爲調和。繼其後者，有刻卜勒（Kepler 1571—1630），其天文智識不重敍述而求理解。應用其銳敏之思想，算學之天才，而又根據第谷之種種天象觀察以研究火星之運動，創軌道橢圓之說。古時阿基米得有言：授我立足點，我將移動世界。今第谷已以立足點授刻氏，而世界竟爲刻氏所動矣。

是時伽利略（Galileo 1564—1642），製有望遠鏡，以爲窺測天象之用，天文智識，更爲大進。伽氏本其經驗觀察的天才，與夫物理定律的新認識，闡發哥白尼學說，著有兩大宇宙系之討論（Dialogue on the Two Chief Systems of the World）一書，厥功之偉，邁越尋常。乃當時抱殘守缺者流，羣起攻擊，且以此獲罪教主，被錮終身。其判詞有云：以日爲宇宙中心不動者，誕也；於哲理爲虛僞，於體制爲邪說，背叛聖經，莫此爲甚。宗教及僞科學之威權，足爲科學進步之阻礙有如是。伽氏不僅爲大天文家，於物理學上亦有極重要之貢獻；如等加速運動（uniform acceleration），拋物運動（projectile motion）等，皆證以實驗，發明其理。綜其一生研究方法，尤着力於證明進行中之種種現象，與其環境相摟遞

嬗變遷之關係，而不徒斤斤於現象之最後的階級。科學界至是，蓋已由觀察時代而進於實驗時代矣。利奧那多（Leonardo da Vinci）謂：科學的成功，儼如軍事的勝利；學說，主將也，實驗之事實，兵也，卒也。伽氏以前諸哲，率皆無兵卒而戰者也。嗚呼！誠慨乎其言之也！

伽氏既立動力學（dynamics）之基後，斯提焚（Stevin 1548—1620）於靜力學（statics）復多闡明，曾測定斜面上支持物體之力，推得「力之平行四邊形（parallelogram of forces）」之原則。維薩留斯（Vesalius 1514—1564）始創人體解剖，且有極精良之解剖圖，刊印於世。但維氏又因此為教會所不喜，致被放逐於外，其遭際固有與伽氏相同者也。

天文上問題之解決，既賴有精密之算學方法，而航海道路軍事工程以及繪畫地圖，亦在在有待於算學之發達。其應運而起者，有里替卡斯（Rheticus 1514—1576）作三角正弦表，有納披爾（Napier 1550—1617）創對數術，更有微塔（Vieta 1540—1603）者，於算學方程式中以子音字母代已知數，主音字母代未知數，而算學史上為闢一新紀元焉。

德國自宗教改革以來，科學大爲進步，而天文學與三角術之發達，尤爲世界冠。但至十七世紀初葉，有三十年戰爭（Thirty Years' War）之發生，繼之以七年戰爭（Seven Years' War），內部渙散，商業衰落，科學家沒沒無聞，幾及二百年。意國懲於伽利略之無辜被刑，科學熱心頓爲冷卻。法國自亨利四世（Henry IV）即位，宗教之爭以息，而文化煥發，漸屆花肥葉盛之時；如笛卡兒（Descartes）巴斯噶（Pascal）馬略特（Mariotte）斐馬（Fermat）等，均爲極負盛名之科學家。英國無宗教戰爭，其人民於宗教問題，不甚措意，因得專心致力於學問，於是法蘭西斯培根（Francis Bacon）波義耳（Boyle）虎克（Hooke）哈列（Halley）牛頓（Newton）等大哲，蹌蹌濟濟，勃然興起，學術之盛，莫與倫比。

其奮力爭脫古代哲學之窠臼，別樹一幟，以開科學史上之新紀元者，厥惟法蘭西斯培根（Francis Bacon 1561—1626）與笛卡兒（René Descartes 1596—1650）。培根雖於科學無甚發明，而其倡導之求知方法，實有莫大之功績。氏於一六二〇年，發刊一最有名

之著作，顏曰新工具（Novum Organum），所以別於昔日之演繹的邏輯（deductive logic）也。其宗旨在供給適當工具，以示正確之心智步驟，而用於自然律（natural law）之發見，卽所謂歸納法（inductive method）者是。其法先儘量搜羅事實，俾無遺漏；次則取所有事實，逐步分析而比較其異同；再次則推求其所考察現象之原因，以爲綜合概括之資。氏又主張探求眞理，征服自然，順天而從之，孰與制天而用之爲得也。笛卡兒爲解析幾何之發明家，因鑒於當時學說之束縛思想自由，有懷疑論之提出，謂於疑中求信，其信乃眞也。其研究方法，側重演繹。有四大要點：第一破除一切陳見，非澈底了解，不遽予輕信；第二將所有種種難題，詳爲分析；第三由單而複，順序思考；第四列舉詳備，審驗普徧，俾無遺漏。總之，完備的科學方法，不僅包括無偏的觀察，重覆的試驗已也，並須有審愼之假設或學說（hypothesis or theory），以說明所觀察之事實。此種假設，亦祇爲一種暫時的擬議，非加再度之觀察與實驗，固未可遽予承認。雖然，其已證實之學說，亦實爲科學的綜合（scientific generalization）之基礎，設非此者，則科學亦將不能進步。培根歸納法，能於學說中辨別眞

僞，而科學的學說（scientific theory），爲詮解所考察事實之必需，則笛卡兒之功，亦自有足多者。

科學方法，既漸確立，而所以實行此方法之試驗用具，亦日有所創製。和蘭製鏡商人，知以二鏡相合，遠小之物可變爲近而且大。一六〇九年伽利略據以製望遠鏡，以觀察天象，一六三九年英人加斯科印（Gascoigne）復附以測徵器（micrometer），以爲調節之用。顯微鏡之製，約與望遠鏡同時。克拆爾（Kircher 1601—1680）之鏡，有千倍以上之擴大力。於是哈維（Harvey 1578—1657）血液運行之說，乃得證實。其他於伽利略（Galileo）之寒暑表，托里拆利（Torricelli 1608—1647）之氣壓表，惠更斯（Huygens）之擺子時鐘（pendulum clock）及嚇爾茲（Hales 1677—1761）之計壓器（manometer），亦均於科學之進步，有極大之關係。

斯時學術機關，亦日以繁盛。在意有林栖學術院（Accademia dei Lincei），成於一六〇三年；在法有皇家科學院（Académie Royale des Sciences）成於一六六六年；在德

有普魯斯科學院（Prussian Akademie der Wissenschaften），成於一七〇〇年。英之倫敦皇家協會（Royal Society of London），始為友朋討論之所，乃於一六六二年正式立案。其最初會員，有波義耳（Boyle）虎克（Hooke）惠更斯（Huygens）馬爾丕基（Malpighi）牛頓（Newton）諸人，均為知名之士。

波義耳（Boyle 1627—1691）曾著懷疑派之化學家（The Sceptical Chemist）一書。書為問答體，力闢當時模糊之說，謬戾之言，崇尚真正之實際，輕視無據之推理，以導學者日入於試驗之途。斯塔爾（Stahl 1660—1734）研究燃燒現象，以為物在燃燒時，有一種質焉，受熱後自內驅出，名曰燃素（phlogiston）。此燃素說，在今日視之，固甚可笑。但其立說，根據當時已知事實，故能風靡學術界，亙一世紀之久。馬爾丕基（Malpighi 1628—1691）與虎克（Hooke 1635—1703）均用顯微鏡作解剖上種種研究，前者證明血液之循環，後者發見生物組織之細胞。蓋實驗之法，已漸形普遍矣。

至於算學，斐馬（Fermat 1601—1665）與巴斯噶（Pascal 1623—1662）有盤

數與幾率說（theory of number and probability）之研究，卡發利亞里（Cavalieri 1598—1647）創不可分說（theory of indivisibles），爲積分法之先河，而微分法之發明，則推來布尼茲（Leibnitz 1646—1716）與牛頓（Newton 1642—1727）二氏。

自牛頓出，物理學始建立於度量的基礎（basis of measurement）之上。氏創萬有引力定律（law of universal gravitation），以說明天體之運行，以及地球上各種之現象。其原理（Principia）一書，實爲橫掃一世之傑作。又氏於光學，則力主微點說（corpuscular theory），以與惠更斯（Huygens 1629—1695）之波浪說（wave theory）相抗。哈列（Halley 1656—1742）應用牛頓天象諸學說，而有彗星再見之預告，後竟證實，大爲世所驚服。

十六十七兩世紀諸大發見，足以引起一般社會之興趣，即在巴黎會客室中，亦習聞笛卡兒與牛頓之名。於是理化動植地質諸學，乃喬皇改觀，而天文算學，復達更精更深之一境。故有以十八世紀爲科學復興（scientific renaissance）時期者，亦未爲過。

當十七世紀，學者注重實驗已極顯著。至十八世紀，懷疑傾向，亦頗不弱，推理之爲實驗所限制，乃不復如昔時之謹嚴。各科學在此期中，以算學及算理天文學，爲尤發達。英國値牛頓之後，盛極難繼，無傑出之發明。法國於是起而執科學界之牛耳，如蘭格倫日(Lagrange)拉普拉斯（Laplace）等，其尤卓卓者也。

自牛頓來布尼茲發明微積分學，馬克羅靈(Maclaurin 1698-1746)與歐拉（Euler 1707—1783）繼起整理，首爲有系統之演述。蘭格倫日（Lagrange 1736—1813）著解析力學（Mécanique Analytique）一書，在理論物理學上，有極大之功績。拉普拉斯（Laplace 1749—1827）則思以算學原則，解決太陽系運行問題，其所撰之天體力學（Mécanique Céleste），足以發揚牛頓之原理，且可補所未逮。氏又尋求太陽系之成因，而創星雲說（nebular hypothesis），則對於天體，爲更進一步之探討，並爲生物進化論之張本。赫瑟爾（Herschel）製鉅大望遠鏡，觀測天象，於一七八一年發見一新行星，卽所謂天王星（Uranus）者是。佛蘭克林（Franklin 1706—1790）以風箏試驗，證明天

空之閃電，與人造電之發火，同是一物，更進而研究，有避雷針之發明。昔時所謂不可知與不可測之超自然威權，至是乃得掃除矣。

地球之為太陽系中之一行星，世人早已熟聞習知，而其構成，尚未十分注意及之。至哈同（Hutton 1726—1797）始以地球不僅為一種機械供人類與動植物之棲止，且有修整恢復之機能，以維持其自身之常態。氏倡導地質之變遷，非突如其來，今日觀察之所得，即可據以推想往時岩石之變化。哈氏之擴大時間概念，猶牛頓之推廣空間概念也。

是時物質變化，亦多研究。卡汾狄士（Cavendish 1731—1810）發見輕氣，並知水之組成法。普利斯特利（Priestley 1733—1804）與祉勒（Scheele 1742—1786）獨立研究，各不相謀，同時有養氣之發見。拉瓦節（Lavoisier 1743—1794）由實驗推知化學變化之前後，物體重量總和，毫無增減，因創質量不滅之定律（law of conservation of mass）。蓋氏於數量問題，特為致力，以為天秤之於化學家，無異望遠鏡之於天文家；無此，因不足以明變化之真象也。

林尼阿（Linnæus 1707—1778）研究種種動植物，比較其同異，創人爲分類法。蒲豐(Buffon 1707—1788)著自然史（L'Histoire Naturelle）一書，亦有極重要之貢獻。布拉克（Black 1728—1799）探討物體之比熱（specific heat），並有隱熱（latent heat）之發見。瓦特（Watt 1736—1819）之創製汽機，頗利賴之。

自汽機出，而工業革命，於以開始。向之手工工業一變而爲機械制度。工廠繁興，家庭工業，頓形衰落。鄉村居民，奔赴城市。接觸既日增多，思想因益以發展。智識之探討，乃更得一新衝動焉。

英國爲工業革命之策源地，中等階級，財力活動，學術自盛。德國自拿破崙戰爭(Napoleonic wars）後，元氣漸復，科學亦昌。其他法瑞俄匈意美等國，智力發展，加意學問，亦各有莫大之貢獻。十九世紀之前半期，物理學之發達，最爲顯著。其後半期，則生物學進步極速，而進化論（theory of evolution）有支配全學術界之勢力。降及二十世紀，理想更高深，儀器更精密，而空間時間及物質(space, time and matter)之理論，愈趨繁複。科學的學

說（scientific theory）乃超越常識（common sense）矣。

算學爲各科學之「后」，其發展殆已漸臻凱旋慶祝之境。高斯（Gauss 1777—1855）窺得算學之堂奧，而思有以脫離歷來相沿之制限，證明無論何次方程，必含有相當數之 $a+b\sqrt{-1}$ 式的根。此不特於高等算學極關重要，卽電機工程，亦深資應用。羅巴哲維斯啓（Lobachevski 1793—1856）演繹幾何公理，而有非歐幾里得幾何（Non-Euclidean geometry）之發明。蓋幾何上之公理，非先天的綜合結論，亦非實驗的事實，不過一種慣例耳。

是時行星運動，其觀測之結果，與計算所得者，不能符合，尤以天王星爲甚。推究其故，疑另有新行星擾動所致。於是亞當斯（Adams 1819—1892）及勒未累（Leverrier 1811—1877）乃據此預測，運用算理，悉心研究，而有海王星（Neptune）之發見，爲理論天文學之一最大成功。

雖然，算學不特在天文學上，占極重要之位置，卽化學家，亦有頗注意者。道爾頓（Dal-

ton 1766—1844）用演繹方法，佐以實驗，確立「倍比例」(law of multiple proportions) 之定律。並創原子說（atomic theory)，而測計各種原子量（atomic weight），則對於質的問題，爲更進一步之探討。味勒（Wöhler 1800—1882）以無機材料，製成尿素（urea)，有機與無機之藩籬，因之撤除。門對雷葉夫（Mendeléev 1834—1907）排比化學上基本常數，創立週期律（periodic law），以明各原素之自然次序，且以示未知新原素之位置。據此預測，而有鎵（gallium) 鈧（scandium) 鍺（germanium) 之發見，實爲極大之貢獻。德斐（Davy 1778—1829）應用電流分解物質，因得鈉（sodium）鉀（potassium）二原素。阿累尼斯（Arrhenius）更事研究，創立電解說（theory of electrolytic dissociation），此化學之有關於物理者也。

刺謨福德（Rumford 1753—1814）見炮銃鑽孔，可以生熱，因信熱爲一種運動現象。朱爾（Joule 1818—1889）與赫爾姆霍斯（Helmholtz 1821—1894）繼之，各自獨立研究，而得「能不滅」(law of conservation of energy）之定律，實爲啓發自然

界一切祕奧之總鑰。楊格（Young 1773—1829）力主光是一種波浪現象，並有能媒（ether）之假定，夫累尼爾（Fresnel 1788—1827）更以種種試驗證實之。自是光與音熱，乃同認爲波動之效應矣。本生(Bunsen 1811—1899)與克希荷夫（Kirchhoff 1824—1887）創造分光鏡（spectroscope），發明光帶分析法（spectrum analysis），羅挈（Lockyer）用以窺測太陽，知有氦（helium）之存在。後二十五年，拉姆舍（Ramsay 1852—1916）乃於地球上得之。由是可知天體與地球，其體質固有相同者也。

至電學方面，則有庖斯忒德（Oersted 1777—1851）發見磁石接近電流之作用，安培（Ampère 1775—1836）創立平行電流吸拒之定律，法拉第(Faraday 1791—1867)繼續研究，有力線（lines of force）之規定，馬克斯維耳（Maxwell 1831—1879)進而立光之電磁說（electro-magnetic theory of light），赫芝(Hertz 1857—1894)復以實驗方法證明之，且能測得電浪光浪之長短，於是光與電波同出一源之說乃定。

斯時地球之結構，亦多研究。來伊爾(Lyell 1797—1875)認明時間 (time element)

爲地殼構成之要素，其地質學原理（Principles of Geology）一書，實爲空前傑作。阿伽西（Agassiz 1807—1873）攻治漂石（boulder）而創冰川說（glacial theory），頗爲學者所信仰。拉馬克（Lamarck 1744—1829）精研動物學，著生物構造（On the Organization of Living Bodies）一書，唱導進化學說（doctrine of organic evolution）。達爾文（Darwin 1809—1882）復根據生理形態，胚胎古生物諸學，副以旅行所得之各種實地經驗闡明遺傳（inheritance）變異（variation）天擇（natural selection）諸說，而有物種由來（Origin of Species）之作。此書出版，不特引起科學界之大革命，舉凡政治，宗教，哲學，人事，亦無不發生絕大之變遷。繼達氏而起者，頗不乏人，魏司曼（Weismann 1834—1914）之生殖原質繼續說（theory of germinal continuity），得甫里斯（De Vries 1848— ）之猝變說（theory of mutation），則其較爲重要者也。

自複顯鏡改良，而最下等生物之狀態，漸以明顯。巴士特（Pasteur 1822—1895）研究發酵現象，創立黴菌說（germ theory），繼復發明黴菌與疾病之關係。科和（Koch

1843－1910）乃以實驗證明黴菌為疾病之原因，而非其結果，於是傳染病預防法，及各種治療新法，相繼發明。造福人類殊非淺鮮。

雖然，科學愈進步，其研究方法乃愈趨精微嚴密，而不可一世之新發明，更風起雲湧，陸續不斷。克魯克司（Crookes）探考低壓氣體中放電之現象，而發見陰極線（cathode ray），且知其為微小質點名電子（electron）者所組成。繼琴（Röntgen）繼起試驗，發見X射線。柏克勒爾（Becquerel）研究發燐光之物質，更得一新射線，此射線與X線相似而實不同。居禮夫婦（Prof. and Mme. Curie）因從事分析鈾鑛取得銑(radium)鏷(polonium)鋑(actinium)等放射質。剌得福（Rutherford）復證明放射現象為原子之自然分解，並謂原子為帶陰電之電子與原子核所組織而成。蒲郎克（Planck）研究黑體（black body）放熱現象，唱導量子說(quantum theory)，而向來之連續觀（idea of continuity）因之失其威權。愛因斯坦（Einstein）以時間空間兩相依倚，不可分離，創立相對論（theory of relativity）。其精確深博，曠古未有也。

吾人於此，猶有當注意者，希臘以前，僅有偶然的發明，未能成爲有系統之智識。至畢達哥拉斯始有『哲學家』philosopher（意即愛智之人）之稱謂。自柏拉圖出，普通哲學與自然哲學(general and natural philosophy)之區分乃著，而自然史（natural history）之名，繼復爲亞理斯多德所引用焉。牛頓之原理（Principia）係屬於自然哲學，於是自然哲學之位置，大爲提高。厥後化學又漸有與之分離之勢。至一八七五年，化學物理學二名，乃始爲通常所分用，不復混稱自然哲學矣。

當十八世紀，生物學雖頗有進步，而動物學與植物學之界限，未能劃淸，且與地質學，仍稱爲自然史。又生理學尙爲醫學附庸，而與動植物學之關係，更未注意。一八三〇年，來伊爾(Lyell) 之原理 (Principles) 出版，地質學一科，方得獨立。至生物學之名，初見於德人特雷宇納魯司（Treviranus 1776—1837）之著作。至維克多利亞時代（Victorian Age），達爾文斯賓塞（Spencer）赫胥黎（Huxley）諸進化論家相繼而出，生物學之名，乃大著於世。

生物學爲探討生物界之科學，包有動物學與植物學二種；更分爲形體學（morphology）生理學（physiology）細胞學（cytology）人類學（anthropology）微生物學（bacteriology）諸門。地質學亦有地層學（stratigraphy）鑛物學（mineralogy）岩石學（petrology）古生物學（palaeontology）等之區別。雖然，科學之分類，固日益細密，而其間相當之關連仍多。故晚近頗有融合二科，以成一新科學者：如生理化學（physiological chemistry），生物化學（bio-chemistry），地質物理學（geophysics）電氣化學（electrochemistry），物理化學（physical chemistry）等是。貝爾（von Baer）云：科學之爲物，其源泉日進無疆，其範圍宏廣莫測，其問題夥莫與京，其鵠的遠勿易屆。旨哉言乎！洵不易之定論也。

註一、黃帝內傳曰：玄女爲帝製司南車當其前。志林曰：黃帝與蚩尤，戰於涿鹿之野，蚩尤作大霧彌三日，人皆惑，帝令風后法斗機，作指南車，以別四方。古今隱義曰：羅經定方向，以測星辰天度，以針定子午爲準。其法本於黃帝指南車製，周公更流傳推倣者。

註二、孔氏雜說謂：後唐明宗長興三年，宰相馮道李愚請令判國子監田敏，校正九經，刻板印賣，從之。夢溪筆談謂：板印

書籍，唐人尚未盛爲之，自馮瀛王始印五經，以後典籍皆爲板本。慶曆中，有布衣畢昇，又爲活板。其法：用膠泥薄如錢脣，每字爲一印，火燒令堅。先設一鐵板，其上以松脂蠟和紙灰之類冒之，欲印則以一鐵範置鐵板上，密布字印，滿鐵範爲一版，就火煬之；藥稍鎔，以平板按其面，則字平如砥。

註三、羅欣物原云：軒轅作礮，呂望作銃，魏馬鈞作爆仗，隋煬帝益以火藥雜戲。

註四、唐一行謂：蓋天如繪象，止得其半，渾天如塑象，能得其全。清四庫全書提要謂：渾天如毬，寫星象於外，人自天外觀天。蓋天如笠，寫星象於內，人自天內觀天。笠形半圓，有如張蓋，故稱蓋天。合地上地下兩半圓體，卽大體之渾圓矣。梅文鼎謂：天體渾圓，故惟渾天儀爲能惟肖。然欲詳求其測算之事，必寫記於平面，是謂蓋天。此主張蓋天卽渾天之說也。

註五、晉書曰：虞喜因宣夜之說，作安天論，以爲天高窮於無窮，地深測於不測。天確乎在上，有常安之形，地塊焉在下，有居靜之體。當相覆冒，方則俱方，圓則俱圓，無方圓不同之義也。

第二章　算學科學

第一節　算學

數與形之表記，最爲人事所必需，解析能力，亦爲人類所特具，故算學一科，發達獨早。且他種科學，往往隨時期而迭變，其一時期之建設，輒爲次一時期所毀壞，而另有新建設起而代之。算學則不然，每一時期，各有新建設，而此新建設者，又逐層累加於舊有基礎之上，故進步亦較速。現代幾何學，昉自希臘之畢達哥拉斯（Pythagoras c. 582－500 B. C.）。畢氏曾居埃及多年，返國後設校講學，負笈來遊者頗衆，其有所發明，輒歸諸畢氏。在諸發明中之最著功績者，厥爲「勾方加股方等於弦方」之定理。其幾何學偏重於面積，歐幾里得之幾何原理（Euclid's Elements）中第一第二第四諸卷所載者，都爲畢氏之法。畢氏將數分爲奇偶二種，發見連續奇數相加之和，常爲平方。如

$$1+3=4=2^2$$

$$1+3+5=9=3^2$$

$$1+3+5+7=16=4^2$$

$$1+3+5+7+9=25=5^2$$

$$1+3+5+7+9+11=36=6^2$$

又連續偶數相加之和，可劈分爲兩箇連續因數；如

$$2+4=6=2\times3$$

$$2+4+6=12=3\times4$$

$$2+4+6+8=20=4\times5$$

$$2+4+6+8+10=30=5\times6$$

畢氏於圓形，未遑論列，至希波革拉第（Hippocrates c. 430 B. C.），始創「圓面積與其直徑平方相比」諸定理，而爲有理解的幾何證明。同時安替豐（Antiphon）發明以方求圓之法(squaring the circle)。其法於圓內畫一內切正方形，每邊各作一兩等

邊三角形 (isosceles)，令其頂點適在圓周之上，復於各該三角形諸邊上另作兩等邊三角形。如是繼續進行，可得多種多邊形，其最後所成之多邊形諸邊幾與圓周相符合；故該形之面積，亦幾與其圓面積相等。

是時算學證明，悉用綜合法 (synthesis)，即從已知推論至未知也。至柏拉圖 (Plato 427—347 B. C.) 乃創分析法 (analysis)，則由未知推論至已知，其主旨在輔助綜合的證明或解法之發見。柏氏以點爲線之界，線爲面之界，面爲體之界，其「等量減等量，餘數仍相等」之原理，亦爲氏所發明。其徒麥尼默斯 (Menaechmus 375—325 B. C.) 以平面截割圓錐 (cones)，而得三種曲線，即今所謂橢圓 (ellipse) 拋物線 (parabola) 及雙曲線 (hyperbola) 者是。

圓錐曲線之發明，足徵當時幾何學之猛進，於是歐幾里得 (Euclid 330—275 B. C.) 出，而集其大成，著有幾何原理 (Elements) 十三卷，爲二千年來學者所誦法。其首卷載三角形及平行線論，第二卷畢達哥拉斯定理之應用，第三卷論圓，第四卷外切與內切之多邊

形第五卷比例論，第六卷各相似形之比較，第七卷最大公約數之求法，第八第九兩卷連鎖比例諸數，第十卷不可通約數，第十一卷立體幾何簡易定理，第十二卷角錐圓錐球形等測度上之關係，第十三卷論三角形五邊形等，而以四面體八面體二十面體六面體及十二面體，爲僅有之多面體。

阿基米得（Archimedes 287—212 B. C.）者，最負盛名之算學家兼工程家也。氏頗注意於數的計算，創立螺旋形拋物線及橢圓求積之法，並證明下列諸定理。（一）以圓周及半徑爲直角之兩倚邊所成之直三角形，其面積與該圓面積相等；（二）圓周率π之值，小於$3\frac{1}{7}$而大於$3\frac{10}{71}$；（三）球面積爲大圓面積之四倍；（四）以球之大圓爲底與球之直徑爲高所成之圓柱，其面積及體積，各大於該球之面積及體積之$\frac{1}{2}$倍。阿坡羅尼阿斯（Appollonius of Perga c. 260—200 B. C.）繼之，於圓錐曲線，復多闡揚。著書八卷，敍述圓錐曲線之截取法及其直徑，頂點（vertices），交錯軸（conjugate axes），幾近線（asymptotes）與焦點（focus），並討論圓錐曲線之交切，測定已知點與曲線間之最長最短

線，發見曲線之中心點（center of curvature）等。擧凡現代初等解析幾何學所有各題，幾無不包括在內。蓋阿幾米得所硏究者，爲度量的幾何（geometry of measurement），而阿坡羅尼阿斯之著作，則屬於形與位的幾何（geometry of forms and situations）也。

喜帕卡斯（Hipparchus c. 146—126 B. C.）應天文觀測之需要，作弦表（Table of Chords）十二卷，爲後世三角學之濫觴。希倫（Heron c. 75 B. C.—）以三角形之邊長，求其面積，並著有測量學（Dioptra）一書，爲當時測量家所宗法。托拉密（Claudius Ptolemy c. 140 A. D.）取喜氏之表，加以補充，每間半度計算，至 180 度爲止，並立補插之法（method of interpolation），由是三角學之形式，漸以完備。

尼哥馬卡斯（Nicomachus）曾著算術初步（Introdutio Arithmetica），全離幾何學立論，在阿剌伯算術未輸入以前，學者咸奉爲圭臬。尼氏以觀察與歸納法，發見數之立方，當爲連續奇數之和；如

$$2^3=8=3+5$$

$3^3=27=7+9+11$

$4^3=64=13+15+17+19$

$5^3=125=21+23+25+27+29$

帶奧蕃塔斯（Diophantus c. 250 A. D.）之算術（Arithmetica）七卷，亦如尼氏完全屏棄幾何方法，但用字母代未知數，實爲代數學之先河。代數表演方法，可分爲三種：（一）詞語的（rhetorical），不用符號，但每項及每一次演算，均須用語句詳述，此帶氏以前之唯一方法。（二）略體的（syncopated），採用減筆字，但仍須遵照造句法，帶氏唱導之。（三）符號的（symbolical），僅用符號，不用語句，即近世通用之法也。

希臘衰亡，羅馬勃興。羅馬人之於算學，與希臘人大異其旨趣，凡無關於人事日用所需，均不足以引起其研究之興味。阿幾米得與阿坡羅尼阿斯之高等幾何，固無人顧問，即歐幾里得之幾何原理，亦絕少注意，惟昔時希臘所鄙棄之商業算術，則較有研究。又羅馬數目字，在今日視之，雖頗笨拙，然當時實遠勝於希臘所用者。羅馬計算之法有三：一用手指，一用算

盤，一用特製之表，均頗便於實用。其在算學史上差足稱述者，僅有一波伊悉阿斯(Boethius c. 480—524 A. D.)，已在羅馬城陷落之後。波氏著算術（Institutis Arithmetic）及幾何學（Geometry）二書，多取材於尼哥馬卡斯及歐幾里得之著作。其論算盤諸節，頗有獨創之處。自是厥後，歐洲已入黑暗時代，而文化重心，乃轉移於阿剌伯矣。

阿剌伯之算學，多自印度傳來。印度算學附隸於天文，為僧侶所獨有，非如希臘之為獨立一科，人人可得而研究。且其書每用韻文，辭意甚晦，又祇載定理，而無證法及算法，不能充分發展。且也，印人所研究者數（number），希人所研究者形（forms），故一則以算學見長，一則以幾何著名，是又其異點也。亞雅巴塔（Aryabhata 476 A. D.—）曾著書討論天文及球三角，並列舉關於算術代數及平三角諸定理，而於級數總和之求法，二次方程之解法，及正弦表（table of sines）之計算，尤負盛名。繼之者有布拉馬加塔（Brahmagupta 598 A. D.—）編撰天文系統（A System of Astronomy）一書。其關於算學者，有等差級數，二次方程，三角形，四邊形，及圓之面積，稜錐與圓錐之面積體積諸節。越五百年，至巴斯

迦拉（Bhas-kara c. 1000 A. D.）亦有算學篇什，包括於其天文著作中：其最著功績者，爲簡略記號之改良，及現今所稱阿剌伯數目字之採用。昔時用語句演算之煩雜，至是乃得避免。巴氏復立零號諸法，即 $a+0=a$, $0^2=0$, $\sqrt{0}=0$ 及 $a\div 0=\infty$ 是也。總之，印度人於算術及代數方面，極有貢獻，其承認負數之存在，而以資產債務喻正負二數，亦可見其理想力之一般也。

阿剌伯人頗致力於天文醫學，而於算學，除數目字有所改良外，發明甚少。亞爾科里斯邁（Alkarismi）以布拉馬加塔之著作爲藍本，於八三〇年成代數學（Algebra）一書，爲代數學之名所自出。其首卷討論五種二次方程：$ax^2=bx$, $ax^2=c$, $ax^2+bx=c$, $ax^2+c=bx$, $ax^2=bx+c$ 雖知有二根之存在，但只取其正實數根。其解二次方程，亦如歐幾里得應用幾何方法。至十一世紀初葉，有亞爾卡路（Alkarkhi）以算術及幾何二法，證明二次方程之解答。其算術一書，完全取法希臘，擯棄印度數目字而不用，則大異於當時其他著述家也。

雅典學校，自五二九年，爲查士丁尼帝(Justinian)封閉後，至七八七年查理曼(Charlemagne）時，方重行開設。當時主其事者，爲阿爾琴(Alcuin of York 735－804 A.D.)。阿氏論數，輒雜神學，以六爲完美之數，故神造之物，其數六也。十世紀之際，有給爾貝（Gerbert 940－1003 A.D.)者，得波伊悉阿斯之書，悉心研究，遂爲當時著名之算學家。厥後習算學者漸多，以羅馬之算學，不足滿其慾望也，乃從事搜求古籍。希臘原本既不可得，惟有轉譯阿剌伯文諸書籍，於是歐幾里得之幾何原理等書，均有拉丁文譯本矣。意人利奧那多（Leonardo Pisano, or, Fibonacci 1175－），酷好算學，於亞爾科里斯邁之代數，尤多研究，故力主採用阿剌伯數目字。氏曾游歷埃及敍利亞希臘等處，歸而著算學書（Liber Abaci)，爲中古時算術代數之最富寶庫。此後歐洲戰亂頻仍，算學更無進步之可言矣。

文藝復興，人心解放，科學漸有欣欣向榮之勢，而算學尤着先鞭。德人里吉奧夢退那（Regiomontanus 1436－1476），研究阿幾米得阿坡羅尼阿斯等著作，直接由希臘文譯爲拉丁文，以糾正前此阿剌伯本之錯誤，撰述三角學（De Triangulis）五卷，爲最早之

現代三角學。里氏用正弦及餘弦，從三已知條件，測定三角形，並力主正切 (tangent) 之採用，作正切表以提倡之。里替卡斯 (Rheticus, or George Joachim 1514—1576) 繼之，發明 sin 2x 及 sin 3x 二公式，其正弦表每間一〇秒計算，且至小數十五位。帕楯奧利 (Pacioli 1445—1514) 以阿剌伯法解商業算術諸題，且以算學應用於藝術，其內切六邊形與等邊三角形，頗有關於哥德式建築 (Gothic architecture) 之發達。度勒 (Albrecht Dürer 1471—1528) 提倡透視幾何說 (geometrical theory of perspective)，謂欲得眞確印像於腦中，須平面 (plane) 與直面 (vertical) 並重，其影響於現代美術及幾何學者，殊非淺鮮。

是時意人塔塔格力亞 (Tartaglia or Niccolo Fontana 1500—1557)，有三次方程之解法，斐勒里 (Ferrari 1522—1565) 有四次方程之解法，法人微塔 (François Vieta 1540—1603)，能以三角量法 (trigonometric device) 解四十五次方程，且以子音字母代方程式中之已知數，主音字母代未知數，爲符號的代數學之始祖。

近世計算之神奇不可思議，實賴有阿剌伯數目字 (Arabic notation)，小數法 (decimal fraction)，及對數 (logarithm) 三者之發明。阿剌伯數目字輸入以後，既能運用自如，則不難由推致而得小數法。小數法之有系統者，首創於比人斯提焚 (Simon Stevin 1548—1620)，其法以零號代現在之小數點，如 5.912，則作 $\overset{0}{5}\overset{1}{9}\overset{2}{1}\overset{3}{2}$，或 5◎9❶1❷2❸，頗為笨拙。蘇格蘭人納披爾 (John Napier 1550—1617) 乃主張以點代零號，應用於乘除諸法，甚屬便利。但納氏最大功績，實在對數之發明。納氏利用等差級數與等比級數間之關係，以求對數。其對數表，為自然正弦，每分計算至七位對數為止，並以 10^7 之對數為0。至一六一九年，斯倍得爾 (John Speidell) 撰對數表，乃取 e 為自然底數。納氏之友布立格慈 (Henry Briggs 1556—1631)，另發明新對數，以10為底數，即所謂普通對數者是也。

十七世紀初葉，算理哲學大家笛卡兒 (René Descartes 1596—1650)，創坐標 (coördinates) 之制，而鎔幾何代數於一爐，於是有解析幾何 (analytic geometry) 之發明。蓋笛氏認定任何方程與能適合該方程之點軌跡實相等，故代數可以解答幾何問題，

而幾何圖解，能令代數實在而可目見。其所著之幾何學(Geometrie)中，以a，b及c代已知數，x，y及z代未知數，並已引用近世指數之符號（exponential notation）。窩利斯（John Wallis 1666－1703）復採取笛氏之坐標制，撰著圓錐曲線學(Conic Section)，始以圓錐曲線為二次曲線，而不再視為圓錐之截面。對薩革（Girard Desargues 1593－1662）又另闢新途徑，創立投影幾何學(projective geometry)。該幾何學，不如歐幾里得式之重視個形，多邊形等有定之形，而以一直線之各點，與經過一公共點之各線，及其間一一相當(orderly one-to-one correspondence)之應效，為其基礎也。

斯時意人卡發利亞里（Bonaventura Cavalieri 1598－1647）闡明不可分(indivisibles)說。以點為線之不可分者，線為面之不可分者，面為體之不可分者。由點繼續運動成線，線繼續運動成面，面繼續運動成體。故欲知面或體之相對的大小，只求各組之線或面所聚積者即得。此實為積分學(integral calculus)之前驅。斐馬(Pierre de Fermat 1601－1665）知一函數(function)中連續值之間，有無限小之差異，而得極大與極小之

求法(rule for maxima and minima)。又與巴斯噶(Blaise Pascal 1623—1662)，同創幾率(probability)說。巴羅(Isaac Barrow 1630—1677)取斐氏之無限小量，而增爲11箇，其法較簡。牛頓(Isaac Newton 1642—1727)繼之，以數量(mathematical quantities)爲連續的運動，而名數之變動的速率爲變率(fluxion)，因創變數法(method of fluxion)。同時來布尼玆(Gottfried Wilhelm Leibnitz 1646—1716)研究切線之正逆問題(direct and inverse problems of tangents)，因反積分之法，另得新法，並特製符號，以爲運算之用。故來氏與牛頓，世並推爲微分學(differential calculus)之發明者。

十八世紀算學家，多從事於微積分法之整理。蘇格蘭人馬克羅靈(Colin Maclaurin 1698—1746)，著變數論(Treatise on Fluxions)一書，以幾何方法，詮釋變數原理，爲首合邏輯而有系統之敘述。瑞士人柏努力(Daniel Bernoulli 1700—1782)以微分法應用於幾率論，且以幾率論應用於保險事業，測定各種不同年齡之生亡率。歐拉(Leonhard

Euler 1707－1783）亦瑞士之算學家，有著述四十五卷，爲近世大學算學教本所取法。意人勒格倫日（Joseph Louis Lagrange 1736－1813）於微積分法，頗有發明，而於微分方程（differential equation），亦多論述。蓋微分方程，實繼積分法而自然產生之一種新科目也。

十九世紀及二十世紀之初葉，爲覆驗算學基礎及新定根本原則之時期。往昔久已承認之公理，今且爲高深批評的修正，如非歐幾里得幾何學之創立等是也。通過一已知點，只有一直線可與一已知直線相平行，此爲幾何學上之平行線公理（parallel postulate）。但古來算學家，均未能證明之。至俄人羅巴哲維斯啓（Nicholaus Ivanovich Lobachevski 1793－1856），竟否認此平行線公理，且證明通過一點，可在平面上畫無數直線，而其中無一線截割該平面上之已知線，因創懸想幾何學（imaginary geometry）。同時匈牙利人波力亞（Johann Bolyai 1802－1860），亦不用歐幾里得公理，另立絕對幾何學（absolute geometry）。高斯（Karl Friedrich Gauss 1777－1855）對於此種新幾何學，復加研究，

而名之曰非歐幾里得幾何學(Non-Euclidean Geometry)。其徒里曼(Georg Friedrich Bernhard Riemann 1826—1866)又創新幾何學基礎，虛擬n元空間之存在，而以各線均可以他線相量，故亦可表示度量之關係。其深奧論文，直至一八六七年發表，即所謂n元幾何學(geometry of dimensions)也。

第二節　天文學

天文學爲科學中最古之一種。人類在原始時代，即有觀察天象之舉。晝夜之循環，四季之遞嬗，古人早已深習熟知，而應用於日常諸事。但觀察需精確之儀器，計算需嚴密之方法，且星體運動極遲，而位置變遷極微，有越數世紀方得測知者，故其發達，不得不較後於算學等科。現代之天文學，成立於一五四三年，即哥白尼(Copernicus)之天體運行軌道(De Revolutionibus Orbium Celestium)殺青之一年，非特在天文界起一絕大革命，即一般學術思想，亦爲之根本改變。此後新發明新發見，絡繹興起，未始不受其賜焉。

考哥氏地動日中之說，由來甚古，希臘諸哲，曾見及之。匪羅勞(Philolaus)謂天體之

自東而西，非眞正之自動，實地球自西而東行動之結果。但地球之行動，亦非自轉，乃繞火團(central fire)之軌道而運行。喜塞塔士（Hicetas of Syracuse）信日月星球等天體，靜止不動，惟地球則以極大速度繞軸自轉，故覺天體動而地球不動也。紀元前第四世紀，有赫剌克來第（Heraclides of Pontus）者，唱導地球以二十四小時自西而東，繞軸自轉，而水星金星，則繞日運行，故其距地球有時遠時近之不同。亞利斯他克（Aristarchus of Samos 270 B. C.—）乃假定恆星與日球，均固定不動，而地球則繞日而爲圓運動。其星球不感有位置變動者，因星球距地球極遠，而地球運動之影響，殊屬渺小，不可得而察焉。此地動日中之說，未嘗不言之成理，而竟致湮沒至十數世紀者，足徵當時盛行之地球中心說威力之大矣。

日球中心之說，防自希臘之亞諾芝曼德（Anaximander 611—545 B. C.）。亞氏以地球爲宇宙之中心，而不偏倚於任何方向。恩拍多克利（Empedocles）則謂地球之得懸空中不墜者，由於天體之速轉，如儲水之杯，以極大速率旋轉，而水不外注者，實同一理。柏

拉圖認地為球形，位於宇宙之中心，而不必有所依繫。且信天體有均一整齊之圓運動，並配合等差等比級數之 1.2.4.8. 及 1.3.9.27 等數，為諸天體距離之比率，如月為1.日為2.金星為3，水星為4，火星為8，木星為9，及土星為27是也。攸多克薩（Eudoxus of Cnidus 408—355 B.C.）見天體運動之不規則，乃謂最近地球之月球，係在一球體之赤道上。該球體自西徂東，以27日行一周，而其兩極又位於第二球體之上。此第二球體繞黃道（zodiac）之軸一周，約需$18\frac{1}{3}$年。其外更有第三球體，則為每日自東而西之運動。同理日球亦有三箇球體，其他金水火木土五行星，尙須各加第四球體，以說明退行（retrogressions）等現象。故連衆星之一單獨球體計算在內，共有球體二十七箇，均以地球中心為公共中心。亞理斯多德以為固體中之最完美者唯球體，而能在空間轉動者亦唯球體，故宇宙係一球體。並末星體亦均為球體，而無箇體運動，祇隨一球體共同運動。攸氏之球體系統（system of spheres），氏亦採用，且以此等球體為實體，不僅認為幾何形體，用以說明現象或測定位置而已。其球體之數，更增至55個以上。又地球固定在宇宙中心，其為球體，可由月蝕時觀察而

得也。喜帕卡斯（Hipparchus 146－126 B. C.）以歸納之法，闡發地球中心說（helio-centric theories）。當其解釋日球之年動（annual motion）時，曾見到方向變更，並不一律，而其與地球之距離，亦非恆而不變，因謂星球之運動，非單一的等速圓運動，實爲配合數種等速圓運動而成。氏又以地軸之自轉，解釋春秋分之變遷（precession of the equinoxes），則頗有獨到之處。越二百六十年，至托勒密（Claudius Ptolemy），集地球中心諸說之大成，而著天文叢書（Syntaxis, or Almagest）八卷，謂地爲球形，居宇宙之中心，靜止不動。其解釋月之運動也，以月之循行之圓，與地球不同中心，並假定自該圓中心至地球中心之線，隨同轉動。其他五星球亦有同樣之想像圓。此即所謂托勒密系（Ptolemaic system），風靡學術界，歷羅馬而至中古時代，其威權幾與聖經相埒，及哥白尼新說出，乃大受打擊，終且消滅焉。

哥白尼（Nicolaus Copernicus 1473－1543）研究希臘天文學說，以爲前人既可虛擬數圓，以解釋天體運動，今設以地球非靜而動，當所容許，或由此而得更簡易之說明，亦

未可知。乃先立三假定 (postulates)：一，宇宙係球形，二，地球係球形，三，天體運動爲等速圓運動，或此種運動相配合而成者。次復闡明運動之相對性 (relative character of the motions)，謂所見位置之變遷，實運動之結果。此種運動，或屬於觀察者之自身，或屬於所觀察之物體，或起於兩者各有不相同之位置變遷。蓋物體與物體間之相對運動關係，倘完全相同，則雙方均無運動可以覺察。是以日月星球之每日環繞靜止地球，與地球之繞軸逆向自轉，其效果當相同；而日之每年繞地球一周，與地球之軌道的運動 (orbital motion)，亦正相等。行星距離，已各不同，彗星運行，又極不規則，恆星之多，更非數字所能計，如此龐雜之宇宙，欲其每日以同一運動繞地球一周，殊難費解，故以地球繞軸自轉，似較近理也。氏又謂土木火三星，在晚間升起時，因地球位於日球與該星等之間，故常覺離地球最近。反之火星木星在晚間沒落時，日球介於吾人與該星等之間，故離地球最遠。此足徵日球爲行星軌道之中心，衆行星既繞一中心旋轉，則在金星與火星之間，必爲地球與其相當月球，毫無疑義。但氏仍承認等速圓運動，採用周轉圓系 (system of epicycles)，以說明星球之運行。其周

轉圓之數，則減為34，已足應用。時尚未明引力之理，以為地球苟常繞動，則拋物於上者，何以其物復墮於下。故哥氏新說之推行，固尚有待焉。

第谷布剌厄（Tycho Brahe 1546—1601）調和哥白尼與托勒密二說，而有天體繞地球，行星繞日球之主張。氏於一五七二年，發見仙后星座（constellation Cassiopeia）之一新星，可得鏡見者凡十六月。其距離較月為遠，而不參加於行星運動（planetary motion）。昔日宇宙不變之說，今乃知其與事實不能吻合。於是更專心研究，建立天文臺，製造觀象儀器。於一五七七年，觀察一光明之彗星，推得彗星非大氣的現象（atmospheric phenomenon），其距離至少較月球遠三倍，而其繞日球運轉，亦遠於金星。且該彗星運動，至不規則，其軌道殆作橢圓形，嗣後彗星之迷信觀念為之破除不少。但第谷之最重要貢獻，乃在其儀器之精密，觀察之準確。苟有錯誤之點，輒復再三觀察，作有系統之修正。如此工作，繼續至二十餘年之久，尤為難得。考其觀察方法，迥異於當時所用者，實為近世之好模範。

刻卜勒（Kepler 1571—1630）取第谷多年觀察所得之結果，潛心研究，見火星運

動之不規則，極難索解，乃棄圓圈軌道而不用，另以種種衛結曲線（closed curves）試之，而得橢圓爲最簡之法。復以日球居其一焦點，驟時難題，立卽解決，而事實與理論，亦均相一致。更進而創立三定律：一，行星循橢圓軌道而運行，日球居該橢圓焦點之一；二，自行星至日球之直線，在相等時間之內，經過相等之面積；三，任何二行星，繞日運行所需時間之平方，與其離日之平均距離之立方成比例。又於一六二七年，刊印路得福表（Rudolphine Table），係根據於第谷及本人觀察所得之結果，當時天文家，咸奉爲宗範。

伽利略（Galileo 1564—1642）製望遠鏡，以觀察天象，窺見月球之表面，凹凸不平，高者爲山，低者爲壑；測得木星有四衞星，環繞運行，與金星水星之繞日周轉者相同。又知日球有斑點，徐徐移動，周而復始，因推得日球亦有自轉。其他土星之光環（rings），與金星之盈虧（phases），亦爲氏所發見。凡此種種，足徵哥白尼新說之不謬。於一六三二年，發表兩大宇宙系之討論（Dialogue on the Two Chief Systems of the World, the Ptolemaic and the Copernican）。其首數章，力闢亞理斯多德學說，而注重其新發現諸天象，因是觸

怨教長，幽禁終其身焉。

吉爾柏特（William Gilbert 1540－1603）表同情於伽氏，而承認哥白尼新說，以地球為一大磁石，其環繞運動，係磁性作用之結果。惠更斯（Huygens 1629－1695）以泥球繞軸運轉之試驗，解釋木星兩極之扁平；並推得地球之形，在兩極亦必扁平。

距哥白尼約一世紀，後伽利略之亡幾一年，有稀世大哲牛頓（Isaac Newton 1642－1727）誕生。牛氏見苹果墜地，悟得引力之理，而創萬有引力之定律（law of universal gravitation）謂二物吸引之力，與其質量之乘積成正比，而與其相互距離之平方成反比。初試諸月球之運動，繼試諸各行星與潮汐，終且及於彗星，均相吻合。舉凡已測或可測諸天文現象，亦咸能應用此律，並無衝突。氏又謂行星之能循軌道運行，莫或稍離者，可由拋物運動（motions of projectiles）而知之。物擲於空中，以其有重量，不依直線進行，而循曲線下落於地。吸力在短距離，其方向可視為恆而不變，故其運動之路，近於拋物線形（parabolic）。苟距離加大，則方向改變，不能不計算，而運動之路，乃為橢圓形（elliptical）或雙曲線形

(hyperbolic) 矣。

哈列 (Halley 1656－1742) 應用牛頓諸說於已知之彗星，而有驚人之發見。曾有數彗星，昔皆以為一次出現，不復行近太陽系，氏推求其故，實因循極大橢圓軌道繞日運轉也。乃更進而研究，知於一五三一年一六〇七年及一六八二年出現之彗星，將於一七五九年，可以再見。此大膽之預言後果證實。氏又測得恆星如金牛星 (Aldebaran) 大角星 (Arcturus) 天狼星 (Sirius) 等相對的位置，亦有變遷。凡此種種，皆可為天文學上之大成功也。

十八世紀末葉，蘭格倫日 (J. L. Lagrange 1736－1813) 根據萬有引力原理，解釋月之運行，而木星之四衛星，亦有相當說明。其解析力學 (Mécanique Analytique) 一書，極負盛名，至有以之與牛頓原理相比擬者。越十年，有拉普拉斯 (Pierre Simon Laplace 1749－1827) 之天體力學 (Mécanique Céleste) 出版，則欲於太陽系一切力學問題，求一完全解法，俾理論與觀察相符合，且以免除天文表中之經驗的方程式 (empirical equations)。其首卷載一般運動學說及天體之形態，第三第四兩卷，為特殊運動學說

（special theories of celestial motion），尤注重於彗星月球及其他衛星之運動，第五卷則略述天體力學之歷史，洵為最完備之傑作。

是時觀象經驗積聚愈多，而天體範圍，亦愈加廣。一七八一年，赫瑟爾（Friedrich Wilhelm Herschel 1738－1822）於土星之外圍發見天王星（Uranus）。初以為彗星，繼經數度之觀察，始知其為行星。於是造強度更大之望遠鏡，以觀察天體，又發見天王星旁，有數衛星，土星之旁亦有二衛星，繞之而行。更測得太陽全體，向武仙座（Hercules）之一點，常動不息。氏又為研究雙星（double stars）之第一人，曾見許多星體，極相接近，頗難明其相互間之距離。因詳細觀察，將已知諸星，一一圖表其位置，而得由兩個合成之雙星八百餘座。復同樣編列星雲（nebulae），共得二千五百座。柏塞爾（Friedrich Wilhelm Bessel 1784－1846）繼之，嘗於某雙星與其鄰近天體間相對的位置，作精密之觀察，以求星位之視差（stellar parallax），因測得該雙星之距離，約為地球與日球間平均距離之六五七〇〇〇倍。氏雖於算理，略遜於當代大天文家，而天象觀察，則遠過之，推為近代實用天文學之

祖，非偶然也。

一八二一年，部發(Alexis Bouvard)根據拉氏之天體力學，製備各行星表時，無法可規定天王星之軌道俾得與該星發見前後所得觀察之結果，均相符合。一八七一年，哈塞(Rev. T. J. Hussey)宣稱此種不符之點，或由於天王星外圍，另有物體攝動所致，以該物體尙爲未知，故未計算在內。美德勒(Mädler)以爲土星之軌道，係受天王星攝動之影響，若從此方面研究，則天王星軌道之難題，庶有解決之一日。於是英人亞當斯(John Couch Adams 1819—1892)殫精覃思，以求此理想的新行星。平時計算已知軌道受一行星攝動之影響時，該行星之質量及運動，均爲已知。今則僅知其攝動影響，而欲求其攝動體之位置質量及軌道，甚爲不易。亞氏初假定新行星之軌道爲圓形，及其距離爲天王星之二倍，繼復假定其軌道爲橢圓形，愈算愈精密，而所求得之結果，與其眞正之位置，相差甚小，僅在一度之內。同時法人勒末累(Urbain Jean Joseph Leverrier 1811—1877)單獨研究，其起點，亦假定新行星之軌道爲圓形，及其距離日球爲天王星之二倍。應用算學之理，

推得該行星之軌道。一八四六年，加里(Galle)依照勒氏預定之位置，在柏林初次發見該理想的新行星，卽吾人所知之海王星(Neptune)。此可爲算理天文學之大成功，亦卽牛頓引力說之確證也。

火木兩星軌道，相距頗大，以與他行星軌道之距離相較，似當有另一行星，介乎其間。一八〇一年，意人匹阿紮(Giuseppe Piazzi)在火星與木星之間，發見一極小行星，名之曰祀稷星(Ceres)。但該星之位置，由觀察所得者，與計算所定者，不相一致。高斯(Karl Friedrich Gauss, 1777—1855)乃創計算橢圓軌道之新法，而祀稷星之位置，因得預爲測定。與爾柏斯(Heinrich W. M. Olbers, 1758—1840)根據高氏之結果，竟得重行發見該星。計算行星軌道之法，至是乃大進步。雖然，猶未臻完備也。凡行星繞日公轉一次，其軌道常移前少許，從天文觀測所得水星軌道變化之度數，與從理論推出者，不能吻合。愛因斯坦(Einstein)之萬有引力新定律出，而此懸題，乃得解決。蓋行星每一公轉，其軌道之移動實等於其運動速率與光速率的比率自乘之三倍。依此計算水星軌道，則與觀察所得

之結果，適相符合。愛氏主張時間與空間，是相倚而不可分者；萬有引力之起源，由於空間的形狀發生變異所致。牛頓定律實已包括在愛氏新定律中。取精用宏，宜其受全世界之尊榮也。

十九世紀中葉，有光帶分析術（spectrum analysis）之發明，而天體之化學成分，乃漸明瞭。一八〇二年，武拉斯吞（W. H. Wollaston, 1766—1828）始注意日光光帶，有數條黑線。一八一五年，夫牢因和斐（J. von Fraunhofer, 1787—1826）將該黑線等，圖表其相對的位置，即今所稱之夫牢因和斐線（Fraunhofer's lines）。一八六〇年，本生（Robert Wilhelm Bunsen 1811—1899）及克希荷夫（Gustav Kirchhoff, 1824—1887）製成光帶鏡，證明夫牢因和斐黑線，實由於日球周圍含有某數種原素所致。克氏並知鈉鐵鎂銅鋅鎳等，均存在於日球之大氣（solar atmosphere）中。一八六八年，占森（P. J. C. Janssen）在日光光帶中，發見一鮮明之橙色線，而與已知原素之光帶線，均不相當。佛郎克蘭（E. Frankland）與羅杰（J. N. Lockyer）乃推定其為一種新

原素而名之曰氦(helium)一八九五年拉姆舍(W. Ramsay)始於地面上發見之，尼科爾孫(Nicholson)又於星雲光帶中測得一新明線，以爲成於構造最簡單之原子所發之光，而名此原素曰星雲素(nebulium)。地球有該原素之存在與否，現尚不可知也。

雖然，光帶鏡之爲用，不僅分析天體之成分已也，且可測驗星球之運動。與人多普勒(Johann Christian Doppler, 1803—1853)攷治聲光之學，謂發光體之色，正如發音體之調(pitch)，以其體之行近或離遠觀察者而變易。大概一切星體，均發白光，其間有色者，則因其行近或遠離地球而起。拜斯巴羅脫(Cristoph Heinrich Dietrich Buys-Ballot, 1817—)則以多氏之結論爲錯誤。蓋星體臨近，僅全光帶略向紫外線(ultra-violet region)移動，故紅外線(infra-red)得見，而紫線有所未見，實非色有變易也。非嗾(Hippolyte Louis Fizeau, 1819—1896)表示此種移動，驗諸光帶線，必能明顯。例如臨近星球所發之氫線(hydrogen lines)，與實驗室中所得之氫線相較，則前者必將移向紫外

線，而後者固定不動。英人哈金玆（William Huggins）乃於一八六八年，實行試驗，以期測定星體運行之速度。一八七一年，福吉爾（H. C. Vogel）竟能測得由日球運轉而生之移動應效。畢克靈（Edward C. Pickering）與岐勒（James E. Keeler）又利用多普勒之原則，測定恆星之運動，發見雙星之存在。分光鏡應用之廣，迥非望遠鏡所可及焉。

天文諸定律，既能證諸現在而確，則施諸過去，當亦不無適合之處。於是太陽系創造諸說，相繼以興。其首唱導者，為英人來特（Thomas Wright, 1711—1786）著有宇宙起源論（An Original Theory, or New Hypothesis of the Universe）一書，謂天河（Milky Way）之組織，與土星之光環相類。日球為一發火燄的物質所成之大體，地球乃由日球所分出者。康德（Immanuel Kant, 1724—1804）及拉普拉斯（Laplace）乃立星雲說（nebular hypothesis）。假定現在太陽系之空間，有氣體星雲（nebula）之存在，盤旋不息，熱度甚高。因引力之作用，比重較大之質，乃吸比重較小之質，漸向中央集合。但其熱度，以放射而次第低減，其本體亦因之次第縮小。初時之徐徐迴轉者，今以縮小而增其

速度。赤道附近，其行最速，因起膨脹（bulging）。熱度愈減，速度愈增，而膨脹亦愈甚，卽有赤道之環，分離而出。此環漸冷漸縮，乃致中斷，而其物質聚成爲一行星，該星之軌道，則在環之平面內。其時中央之本體，仍收縮不已，分出同樣之環，形成其他之行星。行星初成之時，亦有尚灼熱而爲氣體者，以冷而縮，以縮而增其速度，其赤道附近，亦起膨脹，而有環分出，成爲衞星。行星與衞星既已成立，其中央本體所遺留之部分，尚未完全冷卻，卽爲今之日球。羅絜（Lockyer）與佐治達爾文（George Howard Darwin, 1845—1912）主張太陽系起源於小流星之羣體（swarm of meteorites），而創流星說（meteoritic hypothesis）。宇宙太初，無數流星，羣集空間，成一星雲，因內部相互之引力，漸次密集於中央，在中心所成之大體爲日球，其以各部比重不同，而成之局部的集合體，卽爲各種之行星。初成時，運動方向不同，常起衝擊，因有光熱燕氣之發生。後以潮汐作用之抵抗，漸成爲最安定之同向運動。一九〇〇年，美人辰柏林（T. C. Chamberlin）與莫爾頓（F. R. Moulton），更創星子說（planetesimal hypothesis），則根據於螺形之星雲（spiral nebula）立論。最初太

陽系，爲一大星雲體，因受引力之影響，成爲有結瘻（knots）之螺形星雲。結瘻之大者，爲行星之核，小者爲衛星之核，其彌散之物質，向核密集，漸成各星之現狀，而中央之體則爲日球之核。此彌散之物質或星子（planetesimals），各有略異之軌道，故其集合於行星衛星之核也，實因循軌道漸行漸近相遇之結果，非由引力之直接吸取所致。此太陽系進化諸說之大概也。

第三章　物理科學

第一節　物理學

物理學爲實驗科學，其發達自較天算爲遲。但器械之應用物理原則以製成者，古人知之甚久，因之有系統之研究，只成爲零碎片段之知識。至十六世紀末葉，伽利略（Galileo Galilei, 1546—1642）始創實驗方法，以求科學眞理，而現代之物理學，乃得成立。伽氏鑽研學理，不爲權勢習尚所羈，主張物墜空中，不以輕重而異其速度。嘗登比薩（Piza）斜塔，實地試驗手二鐵球，一重百磅，一重一磅，同時下墜，同時到地，曾無分秒之差。又以板一，長十二碼，鑿一長槽，闊可容一球。板之一端，初升高一碼，次二碼，三碼，將球沿全槽之長下降，繼令行全槽之半，全槽之四分之一。試驗其百次之多；證明物體降下之距離，與所歷時間之平方成比例，而其速率亦僅與斜面之垂直高度有關，不以經過之斜坡而異。且能說明物之拋出，無論其始發時之方向是否水平，其所行之路，均爲拋物線形。氏在幼年，祈禱於教堂時，見所

懸之燈，搖蕩空中，往返之時，每次相同，因悟以擺計時之法。繼復發見「擺之振動次數，與其長之平方根成比例」之定律。伽氏除力學外，於光學有望遠鏡之製造，於熱學有空氣寒暑表 (air thermometer) 之發明，於聲學知聲之諧和，賴乎振動率（rates of vibration）之比例，及弦之長短粗細弛張之關係。凡此種種，均為物理學上之莫大貢獻。其研究磁電現象者，有意人卡爾丹諾（Hieronimo Cardano, 1501—1576）及英人吉爾柏特（William Gilbert, 1540—1603）。卡氏以磁石之吸鐵，與琥珀之拾芥，認為兩種不同之現象，且知其起因，亦各有別。吉氏稱物體之能吸引如琥珀者為電體（electrics），金屬及其他物體，由摩擦而令其吸引者為非電體（non-electrics），並立電力（electric force）磁極 (mugnetic pole) 諸名。但其最著功績者，為地磁（terrestrial magnetism）之試驗。嘗以磁石製一球體，以磁針近之，則其南極，與針之北極相吸，其北極與針之南極相吸，得同性相拒異性相吸之結果。乃信地球本身為一大磁石，磁針之南極，近地之北極，其北極則近地之南極也。

環繞地球之空氣，十七世紀以前，尚無人注意及之，其最先研究者，爲意人托里拆利（Evangelista Torricelli, 1608—1647）。托氏見吸揚唧筒（suction pump）抽水時，祇能升至三十三呎之高，頗費理解。易以水銀試驗之，則高不及三十吋，更將水與水銀之比重相較，知其壓力實相同。此壓力即係空氣之壓力。試驗時所用之水銀管，當時稱爲托里拆利管（Torricellian tube），今則名爲氣壓表（barometer）。其在水銀上面之空處，現尚沿稱爲托里拆利之眞空（Torricellian vacuum）。此試驗結果，不特知空氣之眞正重量，且足以表示眞空之可能。乃當時學者，猶未能遽信，而有待於巴斯噶（Blaise Pascal, 1623—1662）之證實。巴氏以爲水銀之升高，旣全由於空氣壓力所致，則在高處之水銀柱，自必較短。乃攜赴山巔試驗，果與推論相符。更以紅酒易水銀，重行托氏之試驗，亦得完滿之結果。巴氏又研究液體之平衡，發明「液體壓力在各方向均同」之定律。同時德之馬德堡（Magdeburg）市長葛利克（Otto von Guericke, 1602—1686）欲得眞空，獨立試驗，雖屢經失敗，亦未稍沮。最後思得抽氣筩之製法，卒能將金屬球中之空氣，盡行抽去。此球須

極堅固，方不致爲空氣壓力所擠破，且無空氣時，雖各端驅馬八匹牽之亦不能開，蓋即今之馬德堡半球（Magdeburg hemispheres）也。英人波義耳（Robert Boyle, 1627—1691）繼之於一六六六年，發見「氣體之容積與其所受之壓力成反比」之定律。越十四年，法人馬略特（Edme Mariotte, 1620—1684）獨立研究亦有同樣定律之創立，載於其所著之空氣性質（Sur la Nature de l'Air）中。故該定律，在法國常稱爲馬略特定律（Mariotte's law）云。

牛頓見蘋菓墜地，而倡萬有引力說（theory of universal gravitation），上章已言及矣。其運動三律（laws of motion），實爲動力學之基礎。一無力相加，動不自變；二動之變更，與力相比；三主動（action）恆起反動（reaction），等力而異向。牛頓氏於光學，亦多貢獻，曾以稜鏡作光色分散（dispersion）試驗，知白光（white light）非單純而實龐雜。白光通過稜鏡，能分散而成藍、青、黃、橙、紅各色之光，由於各該色光之屈折度大小不同所致。乃進而研究消除望遠鏡之色差（chromatic aberation），以金屬製凹鏡，易其

一凸鏡，製成迴光鏡 (reflecting telescope)。但誤信光之屈折，與分散 (dispersion) 相伴不離，且唱導光之微點說 (corpuscular or emission theory)，謂光之本體，由於極微之質點組成，其大小之度，與光色相當。此說在當時極盛行。惠更斯 (Cristian Huygens, 1629—1695) 主張光為一種波動現象，擾動起於光體，賴能媒 (ether) 以傳於四方。能媒瀰漫於宇宙間，無處無之，其質極微極堅，而極富彈性，此即光之波浪說 (undulatory or wave theory) 也。氏以解釋光之反射 (reflection) 屈折 (refraction) 複屈折 (double refraction) 諸現象，皆得圓滿結果。複屈折於方解石為特著，光之通過該石者，分為尋常線與異常線 (ordinary and extraordinary rays) 二支，其特性兩不相同，且異於普通之光，而成所謂偏光作用 (polarization)，亦氏觀察所得之結果也。

磁電現象，在十七世紀，研究者寥無幾人。至十八世紀，其發達竟一日千里，為力、熱、聲、光諸學所望塵莫及。葛利克曾製硫礦球，令之轉動，以手抵之，則能生電，此為後來摩電機 (friction electric machine) 之濫觴。一七〇五年，豪克斯俾 (Francis Hauksbee) 發見電

荷，紙留附於物體之表面，金屬亦能由摩擦而起電。格雷（Stephen Gray, —1736）知電之傳導，全視物質以爲差，而與色無關。金屬能傳電，絲線則否。人亦爲導電體。置物體於樹膠 (resin) 中，則可以絕緣 (insulated)，毫不受電之影響。度湛（Charles François de Cisternay du Fay, 1698—1739) 發見電有二種，曰玻體電 (vitreous)，曰膠體電（resinous) 以各電之所自出而命名，實即今之所謂陽電陰電 (positive and negative）也。氏欲說明電性之吸引與拒斥之理，假定兩種流質之存在；摩擦則分離，中和則連合。此兩流說（two fluid theory）爲電現象學說中之最早者。一七四五年，克來斯特(Ewald Georg von Kleist, —1748）作傳電試驗，手執玻瓶，上插鐵釘，與電機相連接，則釘感電甚強；他手觸之，頓受震動。次年，穆拆布魯克（Pieter van Musschenbroek, 1692—1791）與其友邱那斯（Cunaeus,）在荷蘭之來丁 (Leyden)，亦有同樣之試驗。一手握瓶，儲水其中，試令感電；移時，以他手將水與導電體聯接之線移去，忽覺胸臂俱震。此即世所盛稱之來丁瓶（Leyden jar）也。佛蘭克林 (Benjamin Franklin, 1706—1790) 研究來丁瓶之作用，

知以錫箔易水，功效相同，而箔之內外兩層所荷之電，其性各異。氏於電性，唱單流說（one-fluid theory），謂電火（electric fire）爲萬物之一公共原素（common element），各有其常量（normal share），增之爲正爲陽（plus or positive），減之爲負爲陰（minus or negative），實非有兩物。正負電或陰陽電之名自此始。摩電機所發之電花(electric sparks)，與空中之閃電（lightning），雖易知其同爲一物，然尙無人證明之。佛氏乃思得由天空雲端收電之法；以絹製風箏，頂列鋼針，雷雨之際，縱之上升。線之下端，繫一鐵鑰，接以絲帶，手指近鑰，卽有電花，由此可知閃電確係普通電現象之一種。卡汾狄士（Henry Cavendish, 1731—1810）研究蓄電器（condenser）之容量，而以實驗證明靜電荷（static charge）常留存於導體之表面，其電力與距離之平方，幾成反比。此爲靜電測量之肇端。庫隆（Charles Augustin Conlomb, 1736—1806）於電學試驗，極爲精確。曾探考髮絲之扭轉彈力（torsional elasticity），有扭轉計（torsion balance）之製造，以測荷電體間相吸相拒之力，而確立著名之靜電定律，卽兩荷電體間之力，與其電

荷之乘積成正比而與該物體間之距離成反比也。氏又主遠距作用說（theory of "action at a distance"）假定電體能在遠距離相吸相拒，而其間之媒介體，絕不受任何影響。賈法尼（Aloisio Galvani, 1737—1798）試驗電力時，適有已解剖之蛙，在電機之近旁，偶以刀觸之，則生電花，而起顫動，頗以為奇。因再用種種方法試之，亦發生同樣現象。氏遂以為電之起源，在動物之器官，金屬器具，不過一種導電體耳。服爾塔（Alessandro Volta, 1745—1827）反對其說，謂電之發生，由於二種不同金屬之接觸，一荷正電，一荷負電，乃作試驗以證實之。取銅板鋅板多塊，相間排列，並以濕潤之布隔之，即可得電流，此為電池發明之權輿。

是時望遠鏡之製，尚未臻完美。一七二九年，荷爾（Chester More Hall）研究人類眼睛之構造，悟得無色靈視之製法，僱匠磨成物鏡（object-glasses）若干，但終祕不示人。一七五七年，英之製鏡家多倫德（John Dollond），測量投射角及屈折角（angles of incidence and refraction），亦知無色靈視，並非為不可能之事。翌年，遂製成無色望遠鏡，引起

全歐之注意

至寒暑表之製亦大加改良。安蒙通斯（Guillaume Amontons, 1663—1705）製空氣寒暑表，管爲u形，其較長之端，特儲水銀，令其容積不變。且選取水之沸點，爲固定之點，但沸點隨空氣壓力而變更，故未能十分準確。安氏又假定在空氣失其彈力，完全不能載負重量之時，爲該表之極冷點，則已有絕對溫度（absolute temperature）之觀念矣。華倫海(Gabriel Daniel Fahrenheit, 1686—1736) 對於安氏試驗之結果，頗覺興味濃厚。因製成寒暑表二種：一儲酒精，一儲水銀。水銀則選取其純潔者。其表初祇爲氣象觀測上之用，始於〇度，終於 96 度。有固定之點三；取表置於水與冰及鹽之混合物中，則得〇度，爲最低之點。去鹽而僅用水與冰，則得 32 度，爲第二點。其第三點爲 96 度，係康健人之體溫。繼以沸水點代之，改誌爲 212 度。累奧睦耳（René Antoine Ferchault Seigneur Réaumur, 1683—1757）對於安蒙通斯之空氣寒暑表，不甚滿意，又以水銀之伸張度太小，乃用酒精製寒暑表。在水之冰點與沸點之間，酒精自一〇〇〇容積，膨脹至一〇八〇容積，故將該兩點

之間分爲 80 度。但其應用仍未能得良好之結果。得呂克（Jean André Deluc, 1727—1817）復以水銀易酒精，謂水銀爲天所特產，以供製造寒暑表之唯一鑛物也。塞爾薩斯（Anders Celsius, 1701—1744）又另製一種寒暑表，以水之冰點爲 100 度，沸點爲〇度，二點之間，均分爲一〇〇格。其同事斯特勒麥爾（Märten Strömer）始定冰點爲〇度，沸點爲 100 度，即今之百度表（centigrade scale）也。寒暑表中水銀之升高，當時信爲「卡羅里克」（caloric）加多所致。「卡羅里克」者，即熱之本質，無重量而富於彈性，由熱體放出，而爲冷體吸收。布拉克（Joseph Black, 1728—1799）考察冰之化水，水之化汽，進行滯遲之理，斷定其有大部分之熱，消耗於此種狀態之變遷（changes of states），故無溫度之上升。且其消耗之原因，由於物質之微點，與一種流體名「熱」者，發生類似的化學結合所致，因有隱熱（latent heat）之稱。鑿孔於冰塊，置各種熱體（heated bodies）於其中，使冷至同一溫度，而權其溶融之水，即可知其所發出之熱量。後來量熱器（calorimeter）之發明，此其權輿。一七〇五年，紐昆門（Thomas Newcomen, 1663—1729）

欲抽出鑛中之水，製一空氣蒸汽機（atmospheric steam-engine），但以熱之散失太大，費煤過多，不能供尋常一般工業之用。瓦特（James watt, 1736—1819）思所改良，乃添置凝汽器（condenser），使機之運動，不賴空氣之壓力，而賴蒸汽之澎漲。其無形中得布氏隱熱等試驗之助者，甚爲不小。

十八世紀研究聲學者，大都爲音樂家及算學家，故少發明。至十九世紀，始正式成爲物理學中之一分科。克拉德泥（Ernst Florens Friedrich Chladni, 1756—1827）曾作聲之振動試驗，取細沙鋪於金屬板上，以手指執住一邊之中點，用弓切對邊而移動，沙即跳動，終乃止於不振動之點，而成所謂克拉德尼之聲圖（Chladni's figures）。其線或桿之縱的振動（longitudinal vibrations）亦爲氏之發見，且用以測定聲在固體之速率。薩發脫（Felix Savart 1791—1841）表示聲浪在水中前進，與在固體無異，並測定耳可聽見之聲振動次數之限度。赫爾姆霍斯（Hermann von Helmholtz, 1821—1894）以樂音(musical tones)之起，由於空氣中之週期運動（periodical motions），可以音調（pitch）

音色（quality）及強度（intensity）三者辨別之。氏設計球形共鳴器（spherical resonators）以分析人聲與樂音。又用電磁裝置合併音叉所發之聲，而成人工的主音（artificial vowels）與由人口中發出之主音幾相倣。

是時光之微點說盛行，而波浪說則無人注意，已歷一世紀之久。至楊格（Thomas Young, 1773—1829）乃取波動說，詳加研究，作縝密試驗。用二種異源之光線，同射於白幕，設光為實點所組成，則該二光線互相重疊，其光度應倍增。但實際觀察之結果，唯有明暗相間之條紋。此種現象之解釋，祇能認光為在能媒中之波動，而非一種物質。蓋光之波浪進行，一高一低；若雙方高浪與高浪，或低浪與低浪相值，則不起干涉而相助。若一方高浪與一方低浪相值，則互為干涉而相阻。相助則明，相阻則暗，此即所謂干涉原則（principle of interference）者是。夫累涅爾（Augustin Jean Fresnel, 1788—1827）繼之，更以算理的及實驗的研究，闡明光之波浪說，又承認橫波振動（transverse vibrations）以解釋偏光現象（polarization）。一八一六年，俾奧（Biot）發見電氣石（tourmaline）片，

具有複屈折（double refraction）之性，而能吸收尋常線（ordinary ray），因有電氣石鋏（tourmaline tongs）之製，以爲研究偏光現象之用。雖然，光之進行，依微點說，在密質中較速；依波浪說，則在稀質中較速；百餘年來，聚訟紛紜，莫衷一是。一八五〇年，法人佛科(Jean Léon Foucault, 1819—1868) 乃以旋動之反射鏡，測定光行速度，而成所謂判斷的試驗（crucial test）其所得結果，則爲光在水中之速度，較在空氣中爲小。於是光之微點說，遂無復有人信仰矣。

電學智識，在十九世紀中，進步之速，誠足驚人。厄斯忒德（Hans Christian Oersted, 1777—1851）偶以磁針接近電池之銅線，而與之平行，發見針起振動（oscillation），有與該線成直角之趨勢。若改變電流之方向，則針之偏差方向，亦相反。此足證明磁與電間，有密切關係。阿剌谷（Dominique François Jean Arago, 1786—1853）知普通鋼針，置在電流近旁，可變爲磁針。又發見鐵屑 (iron filings) 能爲電流所吸引，因謂載荷電流之線，雖非鐵質，亦當視爲磁石。安培 (André Marie Ampère, 1775—1836) 探討磁力作用，而

以銅線捲繞為螺旋形，置針於其中，其結果則該針所受之磁力，大為增加。安氏又發見「兩銅線平行，電流同向通過，則相吸，逆向則相拒」之定律，而動電學 (electro-dynamics) 之基礎，因以確立。歐姆（Georg Simon Ohm, 1787—1854）從事於金屬傳電率 (relative conductivity）之測定，規定電動力（electromotive force）電流強度（strength of current）及電抵抗（electric resistance）諸名詞之界說，並以理論及實驗明示電動力與電流之關係，而創立今日之歐姆定律（Ohm's law）斯武準（William Sturgeon, 1783—1850）取阿剌谷與安培之鋼針，易為軟鐵，屈之成馬蹄狀，外髹以漆，以銅線繞之，電流一通，即成強磁石，電流停止，則復失其磁力，是為最初之電磁石 (electromagnet)。亨利（Joseph Henry, 1797—1878）復改良之，鐵不髹漆，而以絲包銅線，使之絕緣，且增其繞鐵之銅線圈數，其吸舉之力頗大。一八二九年氏試測各電磁石吸舉之力，而發見自感應 (self-induction)之現象。一八三〇年，又證明磁能生電之推論。法拉第（Michael Faraday, 1791—1867）於一八三一年，獨立試驗，以軟鐵環一枚，繞銅線二圈，一圈接電流表（gal-

vanometer），一圈接電池，惟當電池之電流起歇之際，他一圈方有暫時電流，可由電流表而測知之。此實反厄斯忒德之試驗而行之者。氏又以銅製圓片，令其旋轉於馬蹄磁鐵兩極之間，在該圓片即有電流發生。此爲後來電機發明之權輿。法氏以爲電之吸引拒斥，賴絕緣媒（insulating medium）內各連續質點間之分子運動而前進，故電力之傳播，絕緣媒亦參加其間，因名此種絕緣媒爲介電體（dielectric）。並謂電感應（induction）實起於連續質點之作用，沿曲線而進行，此曲線稱之爲力線（lines of forces）。其所得試驗結果，知兩荷電體之電力強度，視絕緣媒之性質而異，遂有比感應容量（specific inductive capacity）之發見。氏又令光線通過磁場，光浪即爲磁力所屈折，光與電磁之直接關係，至是始漸爲世人所注意。塞柏克（Thomas Johann Seebeck, 1770—1831）研究電流之磁性，以銅線鉍線二種，成電輪道（electric circuit），令一銜接點（junction）較熱於他銜接點，則見有電流產生。若冷卻其中之一銜接點，亦有同樣之現象。是熱又能直接生電，謂之熱電（thermo-electricity）。

物理學家之首先攻擊熱之「卡羅里克」說（caloric theory）者，為英之剌謨福德（Benjamin Thompson, Count Rumford, 1753—1814。）剌氏見鑽銃作鑽孔之際，有熱發生，頗以為奇，乃置礮於水中鑽孔，其熱足以使水沸騰，遂謂由摩擦生熱，其量無窮。凡物之繼續供給，無虞匱乏者，決非物質（material substance），故熱非物質，實為運動。德斐（Humphry Davy, 1778—1829）取冰二塊在真空中摩擦，其周圍溫度雖仍在零度以下，然有一部分之冰，業已融化。其結論謂兩物互相摩擦，其微點間發生振動（vibration），而此振動，即為熱的現象。傅立葉（Joseph Fourier, 1768—1830）應用算學之理研究熱在固體之傳導，於一八二二年，成熱的分析論（La Théorie analytique de la Chaleur）一書，非特在理論物理學上，為闢一新途徑，即在實驗方面，亦受極大之良好影響。雖然，熱動力學創始之功，當歸諸噶爾諾（Nicolas Léonard Sadi Carnot, 1796—1832。）噶氏從事於汽機效率之研究，推得溫度不同，而復歸於平衡，則生功率（power）。水蒸汽為其一例，但非唯一之例，固體如金屬桿，迭為加減熱度，則其長度，因之伸縮，而桿端所附之物體，亦

隨之移動。此全部過程，稱爲一循環 (a cycle)。並認定永久運動（perpetual motion）爲不可能之事，故唯理想的可反行機（reversible engine）其効率爲最大因立可反行原則（principle of reversibility），謂若消費等量之功可自凝聚器（condenser）將熱收取，而歸諸原處。此即熱動力學之第二定律。邁爾（Robert Mayer, 1814—1878）見熱帶病人之血液，較在温帶者爲鮮紅，因引起研究熱學之興趣。嘗謂動力（vis viva）可變爲熱，熱亦可復變爲動力。空氣受壓力而縮小，則生熱，熱與壓力所成之功（work）相當；氏亦求得其數量，惜未能爲當世所注意。朱爾（James Prescott Joule, 1818—1889）研究力、化、電三者効力之關係，而有熱的力當量（mechanical equivalent of heat）之發見。氏用電磁石在水中之磁場旋轉而測量其發出之熱，運動所需之能，及由感應所生之電流。由觀察所得之結果，推知所用之能與所生之熱，均與電流之平方相正比，即熱與能成恆比率（constant ratio）。後更努力試驗，以證明自然界之偉大主力（grand agent）爲不可滅，而尋求其機力（mechanical force）所生相當之熱量。同時赫爾姆霍斯探討熱

電磁諸現象，而測量所成之功，以比較各種不同之主力（agencies）。一八四七年，成能之不滅（Weber die Erhaltung der Kraft）一文，公佈於世，非特包羅有機無機兩界之種種自然過程，且能應用算學之理，詮釋一切現象。克爾文（William Thomson, Lord Kelvin, 1824—1907）復將此「能不滅」定律，應用於噶爾諾諸熱動力原則，推得「能消散」原則（principle of dissipation of energy）。謂能之總量（total energy）恆而不變，但有用之能（useful energy）則以繼續轉變，逐漸減少，而化為無用之熱（non-useful heat）此原則之應用範圍，至為宏廣。

自是以後，物理學上又有新境界之開闢，即馬克斯維耳（James Clerk Maxwell, 1831—1879）之合電動力理論與光學理論治為一爐是也。馬氏以算學公式，闡明法拉第之學說，並信電磁場（electromagnetic field）之能為導電體（conductor）與介電體（dielectric）二者所同具。當電動力（electromotive force）施於介電體如電感應作用時，則電即沿感應線（tubes of induction）傳播，謂之電的變位（electric displace-

ment.）蓋介電體之作用，可視爲與普通彈性固體 (elastic solid) 相似，外力一去，即行恢復原狀。在能起此種電的變位之媒介體中，週期變位波(waves of periodic displacement)當可產生。該波之速率，與光幾相等。故設共同存在之磁媒 (magnetic medium) 與光媒 (luminiferous medium)。即非同爲一媒，而二者之彈性，亦必相同。又進而主張光爲一種電現象，光的感覺，不過是電波通過媒介體時所生之一種效應；因唱光之電磁說 (the electromagnetic theory of light)，載於其鉅著之電磁討論 (Treatise on Electricity and Magnetism) 中。雖其說與觀察所得之事實，不相衝突，但其應用高深之算學，而少明決之根據，致不能得當時多數學者之歡迎。赫芝 (Heinrich Rudolf Hertz, 1857—1894) 乃運用其精密之思想，求得電磁波 (electro-magnetic waves) 之測驗法，以證實馬氏之說而更闡明之。當來丁瓶震蕩放電 (oscillatory discharge) 時，有電磁波放射於空間，其速率與光相等，而波長則不同，且能如光熱之起反射屈折等作用。近來無線電之發明，實赫氏試驗電波之直接結果也。

科學進步，研究方法乃愈趨精微，光帶分析（spectrum analysis）之發明，為其顯著之例。武拉斯吞（William Hyde Wollaston, 1766—1828）為注意日光光帶中黑線(dark lines）之第一人。一八〇二年，氏發見有七線，其中最明顯之五線，則以為光帶中單純色之自然界線。夫牢因和斐（Joseph Fraunhofer, 1787—1826）測定玻璃對於特殊顏色之屈折率時，發見在燈的光帶中，有橙色雙線，即今之鈉線（sodium line）。乃以望遠鏡驗諸日光，則未見此種橙線，而得無數強弱不等之垂直線，較他部為暗，且有幾全黑者。再以氫、硫、酒精等試之，又得明線（bright lines）如前。此蓋由於雜有些微鈉素所致。赫悉爾（J. F. W. Herschel）檢驗數種物質之明線光帶，謂明線之色，可用以測定微量物質之存在與否。一八三二年，部盧斯脫（Sir David Brewster）稱述黑線光帶由光線經過有色玻璃及數種氣體後，為所吸收而成。佛科（Jean Léon Foucault, 1819—1868）以日光及現鈉線之電光，同時導入光帶鏡（spectroscope）中，尋得鈉之明線，與日之D黑線，其位置適相當。本生（Robert Wilhelm Bunsen, 1811—1899）及克希荷夫（Gustav Kirchhoff,

1524—1887）繼之，說明日光光帶中之黑線，實由於日球周圍灼熱氣體所發出之明線，與該黑線同位置者所致，並主張光帶明線，可用為各金屬存在之最好表記。於是光帶分析術之用，乃大著焉。

十九世紀中葉以後，研究真空放電現象，極為盛行。蓋斯勒（Heinrich Geissler, 1814—1879）抽取玻管中之大部分空氣，通以電流，則得美麗之光輝。陰極之周圍為暗部，次行微光部，稱為陰光（negative glow）。再過暗部，又有稱為陽光（positive glow）之光部。此種玻管，普琉刻（Plücker）名之為蓋斯勒管（Geissler tubes.）一八六九年，喜托夫（W. Hittorf）知管內空氣，抽出愈多，則陰極與陰光間之暗部愈擴大，終且及於全管，而面於陰極之玻璃，則發出顯著之螢光（fluorescence），此即陰極線（cathode ray）所致也。克魯克斯（William Crookes）以為管中剩餘氣體之分子，以極大速率，由陰極射出，直可名為射質（radiant matter）。此射質沿直線進行，若中間置有物體，則生陰影；薄片風車，亦能轉動；一遇磁石，即被屈折，與普通光線不同，因名之曰氣外體（ultragaseous state），

以示別於普通之氣體。又稱之曰第四體（fourth state），意謂固液氣三體以外之另一體，即今所謂電子（electron）者是。湯姆生（Sir J. J. Thomson）測得電子之重，約為氫原子之$\frac{1}{1700}$。繼密力坎（Millikan）復作精密之測量，其結果為$\frac{1}{1840}$。勒那特（P. Lenard）曾在真空管中嵌一鋁片，令陰極線通過該片，射於空氣中，而仍不失其感應螢光之性。欒琴（Wilhelm Konrad Röntgen, 1845—1923）發見此線可使腈化鉑鋇(barium-platino-cyanide）所製之片發螢光。尋常光線不能透過之紙木鋁等物質，對於此線，亦能透過。因其性質當時尚未明瞭，欒氏稱之曰X射線（X-ray）。勞耶（Laue）多方研究，知X射線亦為光波或電磁波之一種，惟波長遠較紫外線為小，祇及千分之一。並用硫鋅礦（zinc blende）之結晶，以得X線光帶圖（X-ray spectra）。布拉格父子（W. H. Bragg and W. L. Bragg）創製X線光帶鏡（X-ray spectroscope），由已知波長之X射線，測定其與已知結晶面相平行諸層之深度，而求各結晶之構造。一八九六年，柏克勒爾（Henry Becquerel）發見鈾化合物（uranium compounds）曝於日光後，發出

一種射線，能透過鋁片，與X射線相似，而實不同。以其爲柏氏所發見，名之曰柏克勒爾線(Becquerel rays)。一八九八年，居禮(Sklodowska Curie)與斯密特(G. C. Schmidt)尋得釷(thorium)及釷化合物亦射出該線。居禮夫人乃確定此種放射線現象，屬於原子性質。又由奧國之瀝青鑛(pitchblende)中析出銧(radium)素，其射線有三種，通稱爲α β及γ線。繼復測得每一公分之銧，在一小時內，可發出一〇〇卡羅里(calories)之熱量云。

羅倫徹(H. A. Lorentz)以電子說(theory of electron)解釋熱的傳導現象，謂導體內至少有一部分之電子，在遊離狀態(free state)之下，故陽電質點可爲電力驅向一方，而陰電質點驅向他一方。至非導體內之電子，則處於某種平衡位置(position of equilibrium)，可爲能媒(ether)所加之電力而變位(displaced)。蓋電子能繞其平衡位置起振動，而成爲在周圍能媒中向外波浪之中心，故能感覺爲熱。斯忒分(Joseph Stefan, 1835—1893)及波耳斯曼(Boltzmann)研究黑體(black body)之放射作

用，根據熱動力學原則，求得全放射之強度（intensity of total radiation。）雖其理論尚充分，然未能適用於高溫度。一八九四年，維恩（W. C. W. Wien）更求在某波長時放射強度，與絕對黑體溫度（absolute black temperature）之關係亦不完全，故未能普徧應用。一九〇〇年，蒲郎克（Max Planck）因創大膽之新假定，而得一公式，與實驗相符合，此卽量子說（quantum theory）之所由起也。蒲氏以爲高溫度固體之分子，常起不規則的運動，而賴所謂協振器（resonators）者，成爲有規則的放射波。此種協振器，衹能協振於與本體週期相一致之分子運動，而發出相應之放射波。並假定協振體變分子運動能爲放射能，其發出係間續的，而非連續的，且爲一定量之整倍數。此一定量，不能再分，稱爲能量子，(energy quantum)。又假定能量子爲各協振體固有之量，與其振動數（frequency）成正比。此說一出，向來之力學及熱動力學之基本觀念，又頗有修正之必要。波爾（Bohr）由光帶實驗，研究原子之構造，而知量子的觀念爲正當。愛因斯坦（A. Einstein）復以實驗，證明蒲氏之說，而應用於比熱之說明，並以光的現象，亦爲放射波之應效，因創光量子說

(hypothesis of light-quanta) 而牛頓之光之微點說，頗呈復活之象也。

雖然，愛因斯坦之名震全世界，而引起科學界之大革命者，乃在其所唱導之相對論(theory of relativity)。一八八七年，邁克爾遜(A. A. Michelson)與摩黎(E. W. Morley)以爲能媒設果存在而靜止的，則光線往返於已知距離，其方向與地球運動平行時所需之時間，與其方向與地球運動直交時所需之時間必不一致。乃共同作大規模之試驗，其結果則時間並無差異。一八九五年，羅倫徵(H. A. Lorentz)與菲次澤剌德(G. F. Fitzgrald)創一種縮短假設(contraction hypothesis)，謂物質皆有向其運動方面而縮短之現象。其異向之光線，所以不應一致而一致者，正以在運動之方向，有相當縮短之度也。愛因斯坦繼起研究，於一九〇五年發表特別相對論(theory of special relativity)，謂空間時間，皆爲相對的，因之運動亦相對的。欲作任何實驗，以測定對於能媒之一切等速運動，殊不可能，而能媒之有無其物，儘可存而不論。復立光速率不變之原則(principle of constancy of light velocity)，即光之速率，不因觀察者與光源之相對運動而受影響。

繼研究引力問題，於一九一五年，又有普偏相對論（theory of general relativity）之發表，則推相對原則於任何體系之一切加速運動。並以光亦受引力之影響，恆星達於地球之光，通過日球附近時，不能一直進行，氏且將其彎曲之度數，縝密推出。克綸林（Crommlin）及厄丁吞（Eddington）在一九一九年日食時，實地測驗，而所得之結果，與愛氏推出者相一致。可知相對論之精確廣博，遠在牛頓引力說之上，一經公布，舉世驚服，豈偶然哉。

第二節　化學

人類未有歷史以前，已知利用化學技術，銅鐵之冶煉，酒醋之釀造，玻璃陶磁之範製，其法由來甚古。但匠師輾轉相傳，無聯絡，無學理，未足以言科學。西元四世紀以降，鍊金術（alchemy）漸盛行，雖曾致力於新物質製造之方法，然其虛幻玄奧，要亦無足稱述。文藝復興，化學乃爲醫學之附庸。繼有燃素論（phlogiston theory）之唱導，稍稍研究物質變化之內容，但仍彷徉歧途，罕見眞理。至一七八九年，拉瓦節（Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794）之化學初步（La Traité Élémentaire de la Chimie）出版，化學革命，始告成

功，而現代化學，於以發端矣。拉氏力闢玄渺，一憑實驗，嘗鍛燒金屬於空氣中，而權其所成之物質，知其重量，較大於未鍛燒前之金屬。若置諸封閉器皿中鍛燒之，則空氣中所失之重量，乃與金屬所加之重量適相等。反之，將已鍛燒之水銀紅粉分析之，而權其重量，則得紅粉所失之重量，與其發出之氣體重量又相等。於是唱導質量不滅之定律（law of conservation of mass），以探討化學變化之眞詮。拉氏又以分析天秤，測定炭酸氣之成分，其結果得氧百分之七三，及碳百分之二八，頗爲精確，因有定量分析鼻祖之稱。但其以酸類均爲氧化物，殊未能與事實相符也。

法人普洛司特（Joseph Louis Proust, 1755—1826）分析各種金屬之氧化物及硫化物，發見化合成分之百分率，每恆而不變，即今所謂定數比例定律（law of definite proportions）者是。利希脫（Jeremias Benjamin Richter, 1762—1807）研究酸鹹之中和問題，測得其化合時所需重量之比率，而有當量定律（law of equivalent weights）之創立。道爾頓（John Dalton, 1766—1844）探討化合物之成分，發見倍比例定律（law

of multiple proportion），即一物質與他一物質，能以種種不同重量相化合時，其比率常爲簡單整數。但觀此簡單整數，不難知物質中有不可分之微子若爲之單位者之存在。道氏因又有原子說（atomic theory）之唱導，謂原子爲物質中不可再分之微子，同質之原子，均相似而同量，異質之原子，則大小重量，亦各不同。普牢特（William Prout, 1785—1850）見當時測定之各原子量，幾全爲整數，乃另創一假設，以氫爲萬物之源，而他原子，實均爲氫原子之組成體，但未能得學者之公認。是時蓋呂薩克（Joseph Louis Gay-Lussac, 1778—1850）又發見「氣體容積，常與絕對溫度相正比」及「氣體化合時，其容積比率，常爲簡單整數」兩定律。亞佛加德羅（Amadeo Avagadro, 1776—1856）認定原子與分子之區別，推得同容積之氣體，含有同數之分子。度隆（P. L. Dulong, 1785—1838）與柏替特（A. T. Petit, 1791—1820）研究各種固體原素之比熱，而發見原子量與比熱之乘積，恆爲常數之定律。密拆力喜（Eilhard Mitscherlich, 1794—1863）製造鉀鈉之砒酸鹽及燐酸鹽時，攷察其結晶狀態，因得「同數原子，同樣結合，產生同形結晶」之定律。

凡此數律均大有助於原子量之測定也。

當道爾頓諸氏發見基本定律之際，意大利之科學家，乃致力於溼電（galvanic electricity）之研究。賈法尼（Luigi Galvani, 1737—1798）試驗電力時，適有已解剖之蛙在旁，偶以刀觸之，則頓起顫動。屢經試驗，均有此現象，遂以為起於動物之器官，故名為動物電（animal electricity）。服爾塔（Alessandro Volta, 1745—1827）反對其說，謂蛙腿實無關於電之發生，因用鋅銅片相間排列，置於酸水中，卽得電流，此為電池之濫觴。服氏又謂物各有特殊張力之電液（electric fluid），二物接觸，則電液由高張力流至低張力。若有溼導體，電液可還至原處，此卽所謂接觸說（the contact theory）也。立忒（J. W. Ritter 1770—1810）見兩種溼金屬接觸時，其銹蝕較隔離時為速，遂謂此係電的現象，且推定電流實起於金屬之氧化，無此作用，則無電流，此又卽所謂化學說（the chemical theory）也。一八〇〇年，尼科爾孫（William Nicholson, 1753—1815）及卡來兒（Sir Anthony Carlisle）始用低壓電流以析水，而酸鹹鹽諸溶液繼之。格羅脫胡司（Ch. J. D. von

(Grotthuss, 1785—1822）謂水當電解時負極（negative pole）自其鄰近之一水分子，吸引其氫原子，而為氣體放出。該分子所剩之氧，則奪取其他水分子中之氫，復成為水而代之。如是至他一極，其最末之氧，為所吸引而發出。法拉第（Michael Faraday, 1791—1867）稱離各部而載電量者為伊洪（ion），電池之兩極，為陽極（anode）與陰極（cathode）。並發見同一物質，其分解之數量，全賴通過電流之多少；而異種物質在兩極解離者，適與其當量（chemical equivalent）成比例。於是電流之產生，乃知其確為電池內化學作用之結果也。德斐（Humphry Davy, 1778—1829）於化合物之電解，頗為致力，以為異質原子相遇時，各得正負相反之電荷（charge），因電荷不同，互相吸引乃成化合物。若所加之電力，大於原有電荷之吸力，則起分解，而回復其原狀。遂據此理，應用強有力之電池，分解前所不能分解之鉀灰。法以潤溼之純粹鉀灰（potash），置於絕緣之白金板上，板與電池之負極相連，再以通於正極之白金線，接觸於鹼金屬之上面，則該鉀灰溶融，在負極即有金屬光澤之小球出現，此即鉀素。未幾，又用同樣之法，製出鈉素。德氏曾試驗各種氣體對於生

理上之作用，而發明笑氣（nitrous oxide）之麻醉性。屢自吸飲，幾至酩酊昏眩，終不自沮，其研究精神至為可佩。鹽酸中之含有氫氯二原素，而無氧素之存在，亦為氏所證實，故主以氫為酸類不可少之原素，而拉瓦節之酸必含氧之說，從此漸失其尊嚴矣。

瑞典人柏濟力阿斯（Jöns Jakob Berzelius 1729—1848）應用蓋呂薩克度隆柏替特密拆力喜諸定律測定原子量，確立分子式，並研究化合原理與電解現象，倡導電化說（electro-chemical theory）。以為原子如磁石之具有陰陽二極，而在一原子中之陰陽二電荷，又非相等。其正電多於負電者，則帶正電性，反之為負電性。故各元素有一定之電化次序（electro-chemical series），氧為端極之陰電質，鉀為極端之陽電質，氫則幾屬於中和性。又根據此說，而創二元系（dualistic system）。謂凡化合物，無論如何複雜，均由正負電性之兩部所組成。例如硫對於氧為正電性，故互相化合而成硫酸；硫酸固係中和性，但以其含氧較多，顯帶負電性。同理，正電性之鈣，與負電性之氧相化合，而成氧化鈣（lime），以金屬之電性較著，顯帶正電性。再將硫酸與氧化鈣化合，成為硫酸鈣（$CaO.SO_3$）則較

爲中和。但非絕對中和，因尚能成複鹽如礬石 (alum) 者。柏氏於有機化合物，並不嚴繩以電化之律，而強屬於二元系，蓋信其造成之因，有不可思議之生力 (vital force) 爲之主宰也。

十九世紀初葉，味勒 (Friedrich Wöhler, 1800—1882) 欲製精酸錏 (ammonium cyanate)，乃用精酸鉀 (potassium cyanate) 與硫酸錏 (ammonium sulphate) 相作用。但於其溶液蒸發時，所獲得之結果物，乃爲有機物之尿素 (urea)。於是有機無機之界，因之撤除，而有機化學之基礎，亦因之成立矣。味氏又與利比喜 (Justs Liebig, 1803—1873) 共同研究苦杏油 (oil of bitter almond, or benzaldehyde)，知可氧化爲困酸 (benzoic acid)，並可製成多種屬於該酸一類之化合物。詳加考察，發見此類化合物，均含有一公共之原素基，卽名爲困基 ($C_{14}H_{10}O_2$, benzoyl) 者。此基加氫爲困醛 ($C_{14}H_{10}O_2+H_2$, benzaldehyde) 加氧爲困酸 ($C_{14}H_{10}O_2+O$, benzoic acid)，加氯爲氯化困 ($C_{14}H_{10}O_2+Cl_2$, benzoyl chloride)，其作用有如一單獨原素，不以此種變化而破

裂利氏更推廣之，而唱『二炭烷基論（ethyl theory）』。蓋將有機物與無機物而比較之，其構造頗相類；如醚（$(C_2H_5)_2O$）之於氧化鉀（K_2O），醇（C_2H_5OH）之於氫氧化鉀 KOH，氯化醚（$(C_2H_5)Cl$）之於氯化鉀等均是。於是二元系又得伸張新勢力於有機界焉。杜馬（Jean Baptiste André Dumas, 1800—1884）以氯與醋酸相作用，而得三氯代醋酸（trichloroacetic acid），雖醋酸中之三氫原子，在此新酸中均易為氯，成分大異，但其構造上與性質上，均有顯著類似之點。此種代入法（substitution）不僅限於氯素，即施之於鹵屬（halogen）中其他原素及氯等，亦無不可，此即所謂同型說（type theory）。杜氏謂化合物之分為二部，一若可以示化學性質者，實非必要。化合物各自成為一單位，有時電力雖有關於化合，然無嚴格的二元系之存在，而原子亦無固定之電荷，參加化學作用。至蓋耳哈特（Charles Frédéric Gerhardt, 1816—1856）以基解釋同型說，其說乃大昌明。蓋由基之認識，可以發見相類之化合物，再以代入法，即可得有系統之全類化合物。但蓋氏並非認基為實有其物，即同型物（type）本體，亦不過空洞之形式，俾便於說明化合作

用，及易於分門別類耳。是時威廉生（William Williamson, 1816—1895）已證明醇醚及酸類，均爲水之同型物（water type）。蓋水之公式爲 HOH，其中一氫原子以二炭烷基代入，則得醇（C_2H_5OH）；以 C_2H_3O 基代入，則得醋酸（C_2H_3OOH）；又水之兩氫原子均以二炭烷基代入，則得醚（$C_2H_5OC_2H_5$）。衮威氏更進而創疊型說（multiple types），例如水之兩分子，其式爲

$$\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O \qquad \left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O$$

將各該分子中之一氫原子，代以 SO_2 基，即可得硫酸：

$$\left.\begin{matrix}H\\SO_2\end{matrix}\right\}O \quad \left.\begin{matrix}SO_2\\H\end{matrix}\right\}O$$

開庫勒（Kekulé, 1829—1896）繼之，有雜型（mixed type）說之倡導。其說與疊型說相似，惟取用異型之分子，則不相同，如二烷硫酸（ethyl-sulphuric acid）

$$\left.\begin{matrix}H\\C_2H_4\end{matrix}\right\}O \quad \left.\begin{matrix}SO_2\\H\end{matrix}\right\}O$$

之由一分子氫及二分子水

$$\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\} \quad \left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O \quad \left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O$$

衍化而得者是也。開氏認定沼氣同型物（methane type）之重要，謂沼氣中之每一氫原子代去時，其碳及餘剩之氫所組成之基，必增一原子價，觀 $CH_4 \rightarrow CH_3Cl \rightarrow CH_2Cl_2 \rightarrow CHCl_3 \rightarrow CCl_4$ 即可自明。是則應用原子價討論同型物者。旋又研究 C_nH_{2n+1} 基及炭氫化合物（hydrocarbons）中之氫炭比率，推得基內含有數個炭原子時，必相互聯合，此實爲探求有機物構造之鑰。於是開氏與考異柏（Couper）乃各創構造式，以示原子之排列法。考氏之式與今日所用者，大致相同，惟其於氧之原子量，祇取其半，而假定一切有機物中之氧，恆各含二原子，是則稍異。下舉諸例，足以表明之：

$$CH_3-CH_2-O-OH$$

醇

$$CH_3-CO_2-O-OH$$

醋酸

$$CH_3-CH_2-O-O-CH_2-CH_3$$

醚

昔日之電化二元系說 (theory of electro-chemical dualism) 既未能解釋有機化學上諸作用，乃不復有立足之餘地，而新由同型說產生之構造一元論 (unitary theory of structure) 遂起而代之，有蒸蒸日上之勢也。

原素之性質，如原子量，原子價，比重，比熱等，是時發見已多，則以其相似性質區分爲類，俾便於研究，亦屬當務之急。得柏賴涅 (J. W. Döbereiner, 1780—1849) 認定相似原素與其原子量頗有關係，且見到每三種原素可排成一組，在一組中各原子量，或幾相同，或其差爲常數。試舉例如下：

原素名	原子量	差
鋰	6.94	—
鈉	23.00	16.06
鉀	39.10	16.10
鐵	55.85	—
鈷	58.97	—
鎳	58.68	—

一八六四年，奧得令 (Odling) 宜稱各原子量依大小次序排列時，有顯著之連續性，且相似原素，常分隔以 48，16，40 及 44 之差別，亦屢屢見不一。因信 4 之一數，可代表其公差之單位，實爲今日原子構造說之肇端。雖然，得朱庫托 (A. E. B. de Chancourtois) 已於一八六三年，創議原素按原子價分類，而排列如螺旋形 (helix)，以表示其相似之原素。在一八六三年與一八六六年間，紐蘭 (J. A. R. Newlands) 亦研究此種原素分類問題，而有八音定律 (law of octave) 之發見，蓋將原素依原子量次序寫出而比較之，則第八原素與第一相似，第九與第二相似，第十與第三相似，其有週期之性質，頗爲明顯。門對雷葉夫 (Dmitri Ivanovich Mendeljeev, 1834—1907) 與邁爾 (Julius Lother Meyer, 1830—1898) 各自單獨研究，所得結果，遠勝於八音定律。門氏發明原素之性質爲原子量之週期函數 (periodic function)，而創立今日極著名之週期律 (periodic law)。門氏並將原素排列成表，以示各屬 (group) 電化性 (electro-chemical character) 與原子價之遞變，以及奇偶系 (odd and even series) 之異點。故知某原素在表中之位置，卽

可推得該原素及其化合物之物理的與化學的性質。不特此也，表中有數空格，留爲新原素之地位，厥後各該原素發見，一如其預示，氏之聲譽，乃大著於世矣。

雖然，新原素之發見，非有光帶分析（spectrum analysis）相助不爲功。夫牢因和斐（J. von Fraunhofer, 1787—1826）研究日光光帶中之黑線，而定其相對的位置，卽今日所稱之夫牢因和斐線（Fraunhofer's lines）是也。佛科（L. Foucault, 1819—1868）以日光通過灼熱之氣體，見其相當黑線，更爲分明，以爲該氣體之吸收力，大於其放射力，故黑度愈深。至本生（R. W. Bunsen, 1811—1899）及克希荷夫（G. R. Kirchhoff, 1824—1887）其理解乃臻完備。二氏謂灼熱日球之周圍，必有多種原素之蒸氣，相當於日光光帶之黑線者。故夫牢因和斐之黑線，由於日球所發之光線，通過該蒸氣所致，並證明原素各有其特殊之光帶。反之，某特殊之光帶發見時，卽可推知其原素蒸氣之存在。本生更應用於泉水之分析，其結果，發見銣（rubidium）銫（caesium）二新原素，於是光帶分析之用，乃大著矣。一八六八年羅棨（Sir Norman Lockyer）研究日光光帶，見有一種明線，不屬於

地球上當時已發見之原素，因名此新原素曰氦（helium），希臘語日球之意也。一八九三年，累力（John William Strutt, Lord Rayleigh）試驗氮氣時，見自空氣所得氮之原子量，較諸從其化合物中所得者，常重少許，且斷定其非試驗錯誤所致。拉姆介（Sir William Ramsay, 1052—1916）以為空氣中之氮，必雜有少量比氮較重之物質。乃以空氣通過灼熱之銅，其氧為銅所吸收，更以剩下之氮，通過灼熱之鎂，氮為鎂所吸收，尚有少量餘剩之氣體，比重大增。此新原素，即今之氬（argon），意謂閒怠也。氏更進而求氬之化合物，從事於傍石鑛（cleveite）等之分析，發見一種氣體，其光帶與氦相同。昔時但認其存在於日球中者，今則得之於地球之上焉。拉氏考察門對雷葉夫之週期律，預決其必有與氦氬相似之其他原素，以成一新原素屬。乃製氬液體，以蒸餾法分析之，果得三種新體，可用光帶鏡辨別之。此三種新原素，曰氖（neon），意即新也；曰氪（krypton），意即藏隱也；曰氙（xenon），意即罕見也。

是時電解現象亦頗多研究。一八五三年至一八五九年之間，喜托夫（W. Hittorf, 18

24—）以電流分解多種鹽類，而知伊洪（ion）之速度常不同，並假定
質（electrolyte）而非溶劑（solvent）。一八五七年，克勞修司（Ru
22—1888）宣示溶質之分子，在溶解時，已有一小部份離解而流動。一
（Friedrich Kohlrausch）證明伊洪各有其相對的流動速率（r
velocity），此速率與該伊洪所由分離之化合物，絕無關係。一八八七
August Arrhenius）乃宣佈其電解說（theory of electrolytic di
中之溶質分子，在未通電流以前，多已離解（ionized）；且溶液愈稀薄，
特與阿斯特瓦德（Wilhelm Ostwald, 1853—）研究有機酸所得
可以闡明凡特荷甫（Jacobus Hendricus van't Hoff, 1852—）之
solution）。凡氏謂溶液中之滲透壓（osmotic pressure）與氣體壓力
從（PV＝RT）之公式。但有大多數之鹽類及數種酸類鹹類，其滲透
外，實由於溶液中解離之分子，較計算所得者爲多之故。是類研究之結

融合為一，而形成一種物理化學（physical chemistry）之新科學也。

一八二九年，格累安（Thomas Graham, 1805—1869）研究氣體瀰散現象（diffusion），創立「瀰散速率與密度（density）平方根相反比」之定律。繼於一八六一年發見食鹽，硫酸銅等能滲透羊皮膜（parchment membrane），視若無物，而動物膠（gelatine）白樹膠（gum arabic）等，則極難透過，乃稱前者為晶體（crystalloids），後者為膠體（colloids）。氏又能製成硅酸（silicic acid）等溶液，能通過濾紙（filter paper），而不能透過羊皮紙，因稱之曰膠體溶液（colloidal solutions）或溶體（sols）此類溶液，法拉第（Faraday）早已知之，曾於一八五七年，以數滴燐醚溶液（solution of phosphorus in ether）加入氯化金（gold chloride）之稀溶液中，而得一種紅色澄清液體。一八六九年，丁鐸爾（Tyndall）研究氣體中微小塵點之應效，而知集強有力之光線照之，則質點雖微，亦能窺見，於是膠體溶液之狀態，乃得察知。一九〇五年，稷格蒙狄（Zsigmondy）與栖登托夫（Siedentopf）根據丁氏之理，發明度外顯微鏡（ultra microscope），而質

點直徑小至$\frac{1}{25000000}$吋者，亦能察見。邇來膠體化學進步之速，未始非此鏡之功也。

十九世紀中葉以後，學者研究之趨向漸由分子世界，轉入於原子世界，而科學革命，於以發生，其導火線則爲放射性（radio activity）之探討也。一八七九年克魯克斯（Sir William Crookes）用高壓（high potential）電流，通過含有極稀薄氣體之管時，見其負極，放出一種射線，稱爲陰極線（cathode rays）。此線與普通所見者不同，若受磁力則其方向屈折，可知其有極微質點飛出，且爲帶電體。此種極微質點，斯吞尼（Stony）名之曰電子（electron）。一八九五年欒琴（W. K. Röntgen）發見陰極線衝着固體時，放出一種新射線，能發螢光，且能如日光令照相乾片顯像。此種射線，即今普通所稱之X射線，亦名欒琴線（Röntgen rays）。柏克勒爾（Henri Becquerel）以爲X射線與螢光體，當有關係，遂肆力於螢光體之研究。一八九六年發見由鈾化合物（uranium compounds）放出一種射線，能感照相乾片，且能使周圍氣體變爲電導體，世人乃名之曰柏克勒爾線（Becquerel rays）。但此種物體之新性質，柏氏稱之爲放射性（radio-activity）。居禮

夫人（Madame Curie）搜求放射性之物質，而從事於瀝青礦（pitchblende）之分析，因得二種新原素：一曰鈹（polonium），一曰鐳（radium）。鐳之發見，甚爲重要。其放射線有三種，盧塞福（Sir Ernest Rutherford）稱爲α β及γ線。γ線與X射線最相似，β線則與極線相同，而含電子。一九〇〇年，盧氏又研究釷之放射，能知釷繼續不斷發出一種極稀薄而富於放射性之氣體，名之曰釷射氣（thorium emanation）。一九〇二年，氏與索狄（F. Soddy）進而唱原子崩壞說（theory of atomic disintegration），謂原子並非不可分割與不可鑽透之質點，實爲極複雜之組織。放射質之原子，不甚穩定，故有以高速度放出各種射線，而變爲新原素者。翌年，拉姆舍與索狄證明鐳射氣，確爲一種氣體，有普通氣體諸性質，列於氬屬（argon group），而名之曰氡（niton or radon）。其最爲二氏所驚奇者，該氣經過數日，逐漸消失，而變爲氦。盧塞福以爲氦非爲鐳之唯一分解物，復於一九〇九年，證明鐳釷等之射氣及他種放射質所發出之α線，實爲載電之氦原子。由此種原素蛻變觀之，古時鍊金家之黃白術，殆非全屬夢囈矣。

一九一〇年，湯姆孫（J. J. Thomson）從事分析原素，其結果求出氖（Ne）由二種原素混合而成；其中一種之原子量爲20，他一種之原子量爲22，通常以21爲其原子量者，實乃二者之平均數。該兩種之氖在週期表中，係占同一位置，故稱爲同位異重原素（isotope）。一九一八年登普斯忒（Dempster）一九一九年阿斯吞（F. W. Aston），又發見多種同位異重原素，於是原素之觀念爲之大變。雖然，原子在結晶中之排列，及其在週期表中之關係，則有賴於X光帶之研究。勞耶（von Laue）以X線通過硫鋅礦（zinc blende）見中有一大點，由於光線直接通過所致。大點周圍，有小點環繞之，則係成於被原子屈折之光線。此小點排列之整齊，足徵原子位置，亦有相當之整齊。布拉格父子（W. H. Bragg and W. L. Bragg）乃製X線光帶鏡，以求原子之配列。蓋若波長爲已知，而投射角既可測量，則不難計算原子層間之距離。同樣，再測他二面，即可得原子在空間排列之模型矣。摩兹力（Moseley）應用布氏之裝置，測定各原素所發X射線之波長。如命氫爲1，氦爲2，順序類推，以至於鈾爲92。此數目稱爲原子數（atomic members），即各原素在

週期表中之位置數目昔日之以原子量排比者實不及原子數之較爲確切也。

原子構造之說，一九〇四年湯姆孫初創之。湯氏假定一與原子同大之球，載負均一之陽電，其有陰電荷之電子，成爲同心圓環，循一定之軌道，繞球心而運動。同年，日人長岡，則謂其陽電荷，集中於原子之中心，該原子中心與電子之關係，正如土星之於光環也。一九一一年，盧塞福用X射線，測知各原子均有一帶陽電之核（nucleus），爲許多帶陰電之電子所圍繞，而成所謂中性之原子。波爾（Bohr）引用量子說（quantum theory）以求原子中之電子排列法，謂圍繞於核外電子之軌道，或爲圓形，或爲橢圓，非如太陽系之在一平面，而實列於空間；且電子從一軌道遷至較近於核之他軌道時，乃有能之發生。留伊斯（Lewis）主張原子中之電子，排列成正立方形，且係靜止的。蘭謨耳（Langmuir）繼之，亦以立方之八角作電子之軌迹。電子繞原子核排成一層或數層，外層電子靜止不動，或在一定位置振動，但不在圍繞原子核之軌道中運行。至原子核，亦非最單純之體。一九一九年至一九二一年間，盧塞福用α質點衝擊氫等原子核，核爲之破裂，而以極大速率發出氫射線。一九二

四年，密提（Miethe）以水銀燈發出紫外光（ultra-violet light）時，發見水銀變金之現象。但此微量之金，是否爲水銀所變化，抑所用原質之攙雜，則尚有待於研究。要之原子構造之問題既已探究深奧，則人工改變物質之成功，或亦爲期不遠，是在科學家之努力矣。

第四章　自然科學

第一節　地質學

地質觀察，肇端甚古，火山，地震，山崩，洪水諸現象，自有人類以來，即已注意及之。由石器時代而銅器時代而鐵器時代，人類生活無不利賴地質知識，而地質學於以發達。其初以宇宙問題立論，繼變爲礦物學之附庸，終則融合他種科目，而成一種獨立科學。地質學之名，昉自十四世紀之柏立 (Richard de Bury)，復見於十七世紀塞薩 (Sessa) 之著作 (Geologia del Dottore)。但現代地質學基礎之築成，乃在十八世紀之末葉，蓋自哈同 (James Hutton, 1726—1797) 出，而後知應用眞正科學方法，以解釋地質諸現象也。

哈氏探討地球之自然工作 (natural operations of globe)，見沙泥石灰等沈積物，與有機遺體，同存在於水下，因認定大部之陸地，昔均在海底造成。今日地層雖碎裂分離，屈折皺摺，方向至不一律，但當沈積之際，必均爲水平，或以劇熱膨脹而隆起，或經火山地震而

變遷。並謂此種地球之工作，現尚存在，其活動之力，亦不稍減殺。江河之注流，波浪之撞擊，其力雖甚微，而積久則其效極大。一部之地沉下，一部之地升高，其變遷繼續不息，無起點之可求，亦無止境之可期。故地質學家，祇就地球之物質而研究之可也。氏認水成岩石，受地下高熱與壓力，可凝固變爲結晶體。又以火山噴出之鎔石(lava)，與黑玄武岩類之綠石(whinstone)同屬一源；所異者，一則發出至空中時，尚爲流體，一則經過長時期且受壓力及其他作用，方露出地面。世以氏主張地殼變遷，概由火力(energy of fire)所成，故稱其徒爲火成岩派(volcanists or Plutonists)。是時又有所謂水成岩派(Neptunists)者，創之者爲偉爾納(Abraham Werner, 1750—1817)。偉氏信地球之初期全爲海洋所瀰淹，有鑛物溶解其中，而各種岩石，即由此沉澱而出。及海水退後，全球乃成爲同樣之陸地。又以岩石中所得之有機遺跡，與其生成年代有恆而不變之關係，因創層系(formations)之名。最下層爲原生層系(primitive formations)，次爲轉變層系(transition formations)，再上爲疊成層系(Floetz group)，或次成層系(secondary formations)。氏主張原

生層系以上諸岩石及黑玄武岩等，均由水所積成，其立論多根據礦物，且以其所知局部之地層，卽認為全體之模範，是其大缺點。又偉氏精研礦物，於顏色，光澤，硬度，比重等物理的性質，頗多闡明，其有功於礦物學足與植物學界之林尼阿 (Linneus) 相提並論也。

荷爾 (Sir James Hall) 曾取綠石加熱鎔烊，驟冷之則變為玻璃狀；若緩緩冷卻，其石理 (texture) 總帶結晶狀。又將白堊 (chalk) 粉末，加壓力熱之，則變為如大理石 (marble) 之岩石。凡此種種，頗有關於地質學之發達，而為實驗地質學 (experimental geology) 之先河。斯密司 (William Smith, 1769—1839) 搜集地層材料，發見每一地層，均有其特殊之生物化石，故可用為區分地層之表識，乃測定次成諸層 (secondary strata) 之重大類別。斯氏之法，概依地層排列化石，其地質層系之界說，則悉根據岩石的 (lithological) 與地層的 (stratigraphic) 性質。又積二十年調查之經驗，製就英國地質圖，為英國地質學之鼻祖。拉馬克 (Lamarck, 1744—1829) 以現代生物，與在各地層中尋得之已絕種類，參互研究，為無脊椎古生物學 (invertebrate palaeontology) 之創始者。氏認地球年代，

荒遠莫紀，大部化石甲殼，係屬於海洋類 (marine forms)，可表示海底各深度，而與沈澱物 (sediments) 同時積聚。且其種類，率應自然環境 (natural conditions) 而變異，其高等生物之產生，輒遲於下等生物。居費兒 (Georges Cuvier, 1769—1832) 於化石爬行動物等，頗有研究，且爲發見化石哺乳動物之第一人，故世推爲有脊椎古生物學 (vertebrate palæontology) 之始祖。拉氏又與布龍納 (Alexandre Brongniart, 1770—1847) 釐定古第三紀 (Older Tertiary) 諸層之類別，承認沉積有淡水與海洋之區分。二氏之研究地質歷史，以礦物性質，地層順序，與化石種類爲根據，實爲重要之貢獻。

是時研究礦物學者，頗不乏人。來爾 (Rome de l'Isle, 1736—1790) 認定礦物依幾何形 (geometrical forms) 分類之法，極爲重要。阿兩伊 (Abbé Haüy, 1742—1822) 研究化學與幾何學之關係，乃有結晶學 (crystallography) 之創立。武拉斯吞 (W. H. Wollaston, 1766—1828) 更發明迴光角度計 (reflecting goniometer) 以爲測定結晶角度之用。自時厥後，礦物學乃成爲準確有條理之科學。馬卡羅 (John Macculloch

1773—1835）攻治鑛物，尤精於岩石，一八二二年刊行地質的岩石分類（A Geological Classification of Rocks）一書，爲岩石學（petrology）之先河。坦增德（Rev. Joseph Townsend）探考鑛物，地層，及化石，逾五十年之久，而於地層學（stratigraphy）及地形學（topography）尤多貢獻。馬克勒爾（William Maclure, 1763—1840）調查美國地質，製成圖表，且就原生，轉變，次成及沖積諸岩石（primitive, transition, secondary and alluvial rocks）附以彩色，以資識別。一八一五年，格利菲司（Richard J. Griffith, 1784—1878）製愛爾蘭（Ireland）地質圖，一八一九年格里諾（George B. Greenough, 1778—1855）製英格蘭及威爾斯（England and Wales）地質圖，於是地質學愈形發達矣。

德人士羅台姆（Baron von Schlotheim, 1764—1832）研究化石與地層之關係，於一八〇四年刊行關於化石植物之著作。一八二〇年，又成古生物學（Die Petrefactenkunde）一書，採用雙名制（binomial system）敘述化石。意人布洛奇（Brocchi, 17

72—1826）攻治化石軟體動物（fossil mollusca），亦頗有貢獻。英人法雷（John Farey, 1766—1826）精研地層製彩色之圖，以說明斷層（faults）傾斜（tilts）及剝露（denudation）之性質。德人部胡（Leopold von Buch, 1774—1853）探考奧汾涅（Auvergne）地質，確信黑玄武岩類屬於噴出岩石（eruptive rock）。部氏曾至瑞士（Switzerland）意大利（Italy）等國研究，發見山嶺爲倒亂與隆起（disturbance and upheaval）之效應，且在多處有花岡岩之軸。又製成德國地質圖，於一八二四年刊行。氏倡導化石有地層的（stratigraphical）及紀年的（chronological）重要關係，比較地質學（comparative geology）之發達，頗利賴之。洪保德（Alexander von Humboldt, 1769—1859）調查各國之鑛物、火山、山嶺及變質現象（metamorphism），並著書討論岩石之層次。多布尼（Daubeny, 1795—1867）研究奧汾涅等處火山現象，於一八二六年刊行活火山與熄火山論（A Description of Active and Extinct Volcanoes）一書，謂在氧化地殼之下，有鉀等未經化合之基，一與水遇，即爲高熱度之最要原因，而此高熱度，

實可引起地震與火山爆裂也。

　十九世紀初葉地質學家尙持激變論（catastrophism）謂在太古，有連續數時期，地球表面發生大變動，諾亞洪水（Noachian deluge）爲其最後之一期。各該變動時期，內生物盡行滅絕，歷相當若干年，另有新動植物產生。此新動植物，又在次期滅絕，埋藏於地層。如是迭相生滅，以成今日之地球外部。一八二三年，巴克蘭（William Buckland, 1784—1856）著成洪水之遺跡(Reliquiae Diluvianae)一書，其在洞隙與洪積石礫（caves, fissures and deluvial gravel）中之有機遺體，及能證明大洪水作用（action of universal deluge）之他種地質現象曾作多種觀察，均經載入。氏雖不否認歷史的洪水(historic deluge）之實有其事，但能見到摩西記錄（Mosaic record）中之普徧洪水，在地質學上，並無佐證。又經蘇斯（E. Suess）研究，其結論謂諾亞洪水，發生於幼發拉的河下游（Lower Euphrates）泛濫於美索不達米平原（Mesopotamian plain）。其重要原因，則爲波斯灣（Persian Gulf）附近之劇烈地震，其時或有自南來之颶風，由他種族

之傳說考之，似未可信當時洪水，徧及全球也。

一八三〇年，來伊爾（Charles Lyell, 1797—1875）之地質原理（The Principle of Geology）發表，激變論頓遭根本打擊，而不變論（uniformitarianism）乃起而代之。來氏善於觀察，富於經驗，主張無論何時何地，自然之設施，恆而不變，而地質學與摩西開闢論（Mosaic cosmogony）絕無關係。嘗旅行各地以證其說，舉凡關於物理的現象，以及動植物學之能闡明地質問題者，莫不搜集無遺。故地質原理一書，實爲空前之傑作。又氏將沉積層（sedimentary deposits or formations）之次序，分列如下：

全新紀（Recent period）

第三紀（Tertiary period）

- 新上新世（Newer Pliocene）
- 遠上新世（Older Pliocene）
- 中新世（Miocene）

始新世（Eocene）

第二紀（Secondary period）

白堊期（Cretaceous）

韋爾登期（Wealden）

魚鰤石或侏羅石灰石期（Oölite or Jura Limestone Group）

力亞斯期（Lias）

新紅沙石期（New Red Sandstone Group）

石炭期（Carboniferous Group）

在第二紀中，以石炭期之範圍爲最廣：有石炭層（coal measures），山石灰石層（mountain limestone）古紅沙石層（old red sandstone），及片沙石層（Grauwacke）與轉變石灰石層（transition limestone）。氏用第一紀（primary formations）之名，代原生層（primitive），用以稱石炭期前諸成層或不成層（stratified or unstratified）

諸岩石。

政府之舉行地質調查，肇端於英國，當時主其事者，爲得拉貝士（H. T. De la, Beche 1796—1855）其法多爲歐美諸國所採用。一八四九年亥丁革爾（W. von Hardinger）始調查奧地利匈牙利（Austro-Hungary）之地質。奉豪爾（F. Ritter von Hauer）繼之，一八六七年至一八七一年間，發印該國之地質圖。蒲勒爾（Brochant de Villiers 1772—1840）波蒙（Elie de Beaumont）及度夫累納（P. A. Dufrénoy, 1792—1857）於一八二三年着手製法國地質圖，附書三冊，在一八四〇年與一八四八年間出版。歐洲俄羅斯圖，一八四一年赫爾麥辛（General von Helmersen, 1803—1885）製成之。德國之地質圖，以得辰（Heinrich von Dechen, 1800—1889）所繪者爲最重要，成於一八六九年。比利時圖，則杜蒙（André H. Dumont, 1809—1857）受政府之命所繪，在一八五四年刊行。杜氏又爲製歐洲地質圖之第一人，而最重要之世界圖，係法人馬庫（Jules Marcou, 1824—1898）所製，在一八六一年印行。一八五八年，挪威與瑞典，始舉行地質調查，挈什夫

(Kjerulf) 遼爾 (Dall) 及愛爾特曼 (Erdmann) 實與其事。一八九九年，瑞士之地質調查所成立，舉斯闊得 (Bernhard Studer, 1794—1887) 爲之長。意大利之地質調查，發起於一八六八年至一八七七年，由佐達諾 (F. Giordano) 主持，乃爲有系統之組織。薩外 (Paolo Savi, 1798—1871) 研究遠古岩石變質的大理石等，頗有獨到之處，世推爲意大利地質學之祖。克拉克 (Rev. W. P. Clarke, 1798—1878) 於一八四一年，在澳大利亞 (Australia) 發見金鑛，並指認志留紀 (Silurian) 岩石，證明新南威爾斯 (New South Wales) 石炭層之石炭期 (Carboniferous age)，爲澳大利亞地質學之先河。

當來伊爾之地質原理第三册於一八三三年出版時，在古紅砂石以下諸岩石層系與有機遺體之次序，尚未規定。一八三一年，塞治尉克 (Adam Sedgwick, 1785—1873) 及麥啓孫 (Sir Roderick Impey Murchison, —1871) 始分途探考威爾斯及英國邊境之較古岩石，於一八三五年創立坎布立 (即寒武) 紀 (Cambrian) 及志留紀 (Silurian) 二名。但塞氏之上坎布立紀 (Upper Cambrian) 化石，與麥氏之下志留紀 (Lower

Silurian）化石皆相同。一八七九年，拉普衡史（C. Lapworth）乃另立奧陶紀（Ordovician,）以名此二分紀。巴郎德（Joachim Barrande, 1799—1883）研究波希米亞（Bohemia）之古岩石，分成三大動物區系（faunas）；第一區系，實際上與坎布立紀相當，第二區系，與奧陶紀相當，第三區系之大部，與志留紀相當，此足與拉氏之分類法，互爲參證。巴氏發見上志留紀中之特殊化石類，有數種存在於下志留紀岩層者，因認爲再見於較高層之移植羣（colonies）。馬耳（J. E. Marr）則謂此種狀態，實係岩層變位（dislocation）之效應。葛德文奧斯丁（Godwin-Austin, 1808—1884）曾在南得文（South Devon）之較古岩石中，搜得多種化石，經隆斯對爾（William Longsdale, 1794—1871）考驗，謂係屬於石炭系與志留系（Carboniferous and Silurian systems）中間之一紀。塞治尉克及麥啓孫，復詳細調查得文岩層，於一八三九年，始提出得文紀（卽泥盆紀）（Devonian）之名，爲英格蘭西南部石炭紀以下大層系之稱謂。石炭紀(Carboniferous)之名，坎尼貝耳(Rev. W. D. Conybeare, 1787—1857)用以名含石炭（coal-bearing)

之層統坎氏謂當石炭紀諸岩石沈積之時，地球表面之大部，尚係海洋，僅有海島羣散布其間，天氣酷熱，一如今日之赤道。柏米紀（Permian）（亦名二疊紀）爲麥啟孫所創始，由俄羅斯之古王國珀米阿（Permia）而得名，其岩層則與英國之下新紅砂石（lower new red sandstone）適相當也。

一八三四年阿貝爾第（Friedrich von Alberti, 1795—1878）創立三疊紀（Trias），以表示德國地層之三組，雖其分類屬於局部狀態，而該名稱則爲一般地質學家所引用。侏羅紀（Jurassic）一詞，爲洪保德所介紹，以法瑞交界之侏羅（Jura）山而得名。白堊紀（Cretaceous）一詞，爲菲吞（W. H. Fitton, 1780—1861）所採用，以該紀中白堊層系所佔之面積特廣而得名。菲氏爲地層學大家，與曼忒爾（G. A. Mantell, 1790—1852）測定白堊紀中岩層之次序，及其分類。璺斯忒脫（F. A. von Quenstedt, 1809—1889）精治礦物學與結晶學，其研究侏羅紀化石帶所得之結果，爲此後地層學家探考之基礎。

一七五六年雷曼（J. G. Lehmann, —1767）分岩石爲原生（primitive）及次成

(secondary origin)二類。一七五九年，亞度諾(Arduino, 1713—1795)新增一第三類(tertiary)，亦具有特殊之化石。菲歷普斯(John Phillips)介紹新生代(Cainozoic)之名，其意義與第三紀(Tertiary)相同。至一八五四年，摩羅脫(A Morlot)創立第四紀(Quaternary)，而新生代乃爲第三第四兩紀之總稱。對祉伊(G. P. Deshayes, 1797—1875)研究巴黎盆地之化石軟體動物，發見該動物中現尙生存種類之百分率，自古第三紀至新第三紀，依次遞增。來伊爾純自地質學上着想，亦得同樣之結論。因依據軟體動物現存種類之多寡，將第三紀分爲若干期：曰始新世(Eocene)現代新種方初發生之謂也。曰中新世(Miocene)，現代新種尙占少數之謂也。曰上新世(Pliocene)，現代新種已占多數之謂也。一九零三年，達爾(W. H. Dall)宣示此種分期法之根據，不甚妥當，因現今生存各種族之環境不同，此區或較適於他區，而在歐美兩洲之始新世，似祇有二三種相類也。伯立治(H. E. Beyrich, 1815—1896)精擘第三紀之軟體動物，於一八五四年創立漸新世(Oligocene)之名。赫爾涅斯(M. Hoernes, 1815—1868)於一八六四年，

更介紹新近世（Neogene），爲中新世與上新世之總稱。至更生世（Pleistocene）一詞，一八三九年來伊爾用以名上新世以上諸層，而現與全新世（Holocene or Recent）同屬於第四紀者也。

當更生世之際，北美、歐洲等處，氣候突寒，地面覆有巨厚之冰川，占域極廣，其影響及於全球。阿伽西（Louis Agassiz, 1807—1873）曾至阿爾卑斯山（Alps）與英國等處，探考地質，有冰川說（glacial theory）之唱導，謂岩石之面光滑而具條痕者，昔實冰川之底；其自遠處移來之漂石（boulders），亦因冰川挾之緩流，融時沉積所成。一八六三年，阿器保基啓（Sir Archibald Geikie）有蘇格蘭之冰積岩現象（The Phenomena of the Glacial Drift of Scotland）之論文，一八七四年詹姆士基啓（James Geikie）有大冰期（The Ice Age）之著作，於是阿伽西之冰川說，乃愈盛行矣。

古生物學之名，初見於窩爾特海姆（Fischer de Waldheim）所著之古生物菁史（Bibliographia Palæontologica），於一八三四年在莫斯科（Moscow）出版。道賓尼

(Alcide d'Orbigny, 1802—1857) 爲法國之著名古生物學家，探考白堊層及侏羅層之化石，於一八四零年成法國古生物學（Paleontologie Française）一書，爲不可多得之著作。達器克（Vicomte d'Archiac, 1802—1868）研究各種化石與其在地層中分配情形，有地層的古生物學（Paléontologie Stratigraphique）之刊印。戚忒爾（K. A. von Zittel, 1830—1904）攻治化石多年，亦有古生物學叢書(Handbuch der Palaeontologie)之撰述。荷爾（James Hall, 1811—1898）從事地質調查逾六十年之久，而於古生代之無脊椎動物，尤具心得，並有著述多種行世。

波蒙（Elie de Beaumont）研究歐洲山脈之趨向及其倒亂（disturbance）之時期，謂山脈有突然聳起者，若在同一時期內，其方向總有幾分相平行；並信阿爾卑斯山，在第三紀內隆起數千呎，庇里尼斯山（Pyrenees）亦有數期之隆起。氏以爲在地球歷史中，比較的靜歇占較長時期，而大倒亂之時期則頗短；且當隆起之際，或在隆起之後，有機遺體亦起變動。一八三七年，洛澤斯兄弟（W. B. and H. D. Rogers）對於阿帕拉契安山脈

（Appalachian chain）之大斷層及變位現象，始能有相當之說明。一八七八年，亞諾（Albert Heim）著山脈構造（Mechanismus der Gebergsbildung）一書，而阿爾卑斯山之摺疊（plications）反折斷層（overthrust）及扇狀（fan-like）排列，均一一加以詮解矣。

本生（R. W. E. von Bunsen）及度洛析（J. M. E. Durocher, 1817—1858）研究火成岩（igneous rocks），分爲酸、鹹（acid and basic）二大類，前者含百分六十以上之硅氣（silica），花岡岩（granite）正長岩（syenite）粗面岩（trachyte）等屬之，後者含百分六十以下之硅氣，輝長岩(gabbro)閃長岩（diorite）玄武岩(basalt)等屬之。索爾俾（H. C. Sorby, 1826—1908）探考顯微鏡的結晶之構造，並創測定花岡岩凝結時之壓力及深度之法，繼更於火成岩及水成岩，作種種研究，遂有顯微鏡的岩石學（microscopical petrography）鼻祖之稱焉。

至地球年齡，亦頗有人從事爾算克爾文（Sir William Thomson, Lord Kelvin,

1824—1907）根據地球自灼熱體冷縮至現在狀態，測得地球之存在約有二〇〇〇〇，〇〇〇年。一八六九年，赫胥黎（Huxley）從古生代及其較新地層推算，假定沈積率(rate of deposition）爲每年八十三分之一吋，及沉積物(sediment)之厚度，爲一〇〇〇〇〇呎，則地球年齡當爲一〇〇，〇〇〇，〇〇〇年。佐利(J. Joly)及索拉斯（W. J. Sollas）見江河挾鹽流入海洋，以增其鹽度，因據以測得地球年齡約爲九〇，〇〇〇，〇〇〇年。斯特剌特（Hon. R. J. Strutt）研究鈾與氦之結果，謂太古紀（Archean times）至今已閱七〇〇，〇〇〇，〇〇〇年，而索狄（Frederick Soddy）之計算，則又爲一五〇〇，〇〇〇，〇〇〇年。總之，地球起原年湮代遠，既乏真確證據，自無適當標準，種種估計，但憑推理，終不免模糊影響也。

第二節　生物學

狩獵稼穡之知識，爲史乘以前人類所必需，而在巴比倫尼亞與埃及文化極盛時代，醫藥之學，已略具雛型。故從實用方面而言，生物學之由來，實甚古遠。其研究生活現象，一憑觀

察，實驗及歸納之法，而樹立現代生物學之基礎者，當推比人維薩留斯（Andreas Vesalius, 1514—1564）與英人哈維（William Harvey, 1578—1657）二氏。維氏破除陳見，注重實地觀察，為解剖人體之第一人。於一五四三年著成人體之構造（De Humani Corporis Fabrica）一書，為古代與現代解剖學之界標。哈氏倡導生後分育說（theory of epigenesis），卽各種生物，均由一細微單純之體，漸長漸分而成。其研究動物之生理也，不重書本，而重解剖，不重哲學的信條，而重天然的構造。舊謂血之運行，常趨同一方向，非如擺之往返搖動；自心室流入動脈，分佈全身，經由靜脈，沿大靜脈而復歸於心室。氏所著心與血液運動（Motion of the Heart and Blood in Animals）一書，實開生物學之新紀元。

荷人雷汶胡克（Anton van Leevwenhoek, 1632—1723）藉顯微鏡之力，發見微生物（bacteria）原生動物（Protozoa）動物精蟲（sperm of animals）等。其畢生精力，悉從事於顯微鏡之觀察，為顯微學家（microscopists）之始祖。算麥丹（Johann Swammerdam, 1637—1680）精研昆蟲之解剖，對於生機組織上，頗多致力，有天然典

（Bijbel der Nature）一書刊行於世，格勒（Nehemiah Grew, 1641—1712）攻治植物之構造，與馬爾丕基（Marcello Malpighi, 1628—1694）同爲顯微解剖學（microscopic anatomy）之先河，馬氏研究蠶之解剖，腺（glands）之構造，胚胎之發達等，並以顯微鏡說明肺臟中微血管的運行（capillary circulation），以完成哈維之血液循環說。

是時生物之分類，悉以構造的相似點(structural similarities)爲根據，而種（species)之一字，甚爲寬泛。至雷伊（John Ray, 1620—1705）規定較嚴，乃限於顯呈不變性之相似個體。但實用的分類法，猶有待於林尼阿（Karl V. Linné (Linnæus), 1707—1778）。林氏之法，初用於植物，繼施於動物，植物以花蕊等爲標準，動物以喙足等爲標準，並創雙名制（binomial nomenclature），各繫以屬名（generic）及種名（specific）。氏曾旅行中歐各國，研究當時儲藏各家之生物標本，且廣自採集搜羅，於一七三五年成自然統系（Systema Naturae）一書，不特萬殊之動植物，分成有系統之種類，而科學的命名法，亦得確定。雖然，林氏之分類，純採經驗式（empirical system），毫無世系關係之意義。

舉謝（B. de Jussieu, 1699—1776）乃另立分類新法，注重相似之總量。康道爾（De Candolle, 1778—1841）繼起推廣之，以成今日之自然分類法（natural system）卽以生物全體器官之位置、形狀、構造以及發達之現象，爲其分類之着眼點也。

蒲豐（Georges Louis Leclerc Buffon, 1707—1788）精治生物，又善屬文，著有自然史（L'Histoire Naturelle）四十四卷，其討論動物界，尤有獨到之處。又謂動植物之構造，每以環境而改變，且以遺傳於子孫，而由自然原因，亦可漸漸進化爲不同之新種。波內（Charles Bonnet, 1720—1793）唱導生物梯階（scale of life）說，以爲動植物之構造，雖千殊萬別，但可依其複雜程度，排列爲自然梯階，由最下等以迄最高等，依次遞進，連續不斷。氏又研究下等動物，知其局部雖遭損折，亦有再生（reproduction）之能力。

黑爾茲（Stephen Hales, 1677—1761）研究植物生理，作種種試驗，認知綠色植物（green plants）自空氣中吸取其大部分之食物，而流質之輸運至枝莖，與過剩水分之蒸發，葉亦參加重要工作。一七七九年，普利斯特利（Joseph Priestley, 1733—1804）宜

示養氣有時由植物發出。英根豪斯(Johann Ingenhousz, 1730—1799)謂嘗曝露於日光時，來自空氣之碳氣，在葉中分解，留其碳素而吐出養氣。哈勒(Albrecht von Haller, 1708—1777)攻治生理解剖，於一七四三年，證明筋肉之收縮，並不賴乎所謂生活靈氣(vital spirit)者自神經傳達而起；但其收縮之力，實為本體所固有，且具獨立之性，即與神經系或身體分開，亦能存在。累奧睦耳(René Antoine Ferchault de Réaumur, 1683—1757)研究胃臟消化，以食物之溶解，為消化之主要因子。拉瓦錫(Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794)與拉普拉斯(Pierre Simon Laplace, 1749—1827)說明呼吸的化學變化，不過一種燃燒作用，使養氣變為碳氣，以供給其體熱。

比沙(Xavier Bichat, 1771—1802)精習形體構造，將動物身體各部分為器官系與組織系(systems of organs and tissures)以資比較，並著有普通解剖學(Anatomie générale)等書行世。屈費兒(Georges Cuvier, 1769—1832)主張器官(organs)之互為依靠，實為功用(function)之互為依靠的結果。構造與功用，係生物之二態連合一

致者，因立相關律（law of correlation）表述動物器官間之關連，及其習慣（habit）環境（environment）等之影響。氏嘗比較解剖上之同異，將動物分爲四大類：即脊椎動物（Vertebrata）軟體動物（Mollusca）關節動物（Articulata）及放射動物（Radiata）是也。聖提雷耳（Geoffroy St. Hilaire, 1772—1844）於比較解剖學亦頗有闡明，其興趣在動物各部功用上之相似，而不在解剖上之相似。奧文（Sir Richard Owen, 1804—1892）解剖動物，終身不懈，其同官構造與同用構造（homologous and analogous structures）之辨別，於動植物世系上之研究，極爲緊要。

動植物之生理解剖，既多闡發，基本的分析，自漸引人注意，而細胞學說，於以興起。虎克（Robert Hooke, 1635—1703）創製複式顯微鏡，檢視植物之構造，發見蜂房狀之細胞（little boxes or cells），實即今之細胞壁（cell-wall）。一七五九年，服爾夫（Kaspar Friedrich Wolff）發刊其所著發生論（Theorie generationis），載有動物及植物細胞之研究，前者稱爲球（globules），後者稱爲胞（utriculi），而植物脈管系（vascular

system）之爲細胞所組成，始見於特雷宇納魯司（Rudolf Christian Treviranus, 1776—1837）所著之植物之內部構造（Dem inwendigen Bau der Gewächse）。一七八一年豐坦那（Abbé Felice Fontana）發見生活細胞之核（nucleus）。一八三三年布拉文（Robert Brown）乃認知核與細胞之關係。雖然，細胞說（theory of cells）之成立當歸功於植物學家士來登（Matthias Jakob Schleiden, 1864—1881）與動物學家司旺（Theodor Schwann 1810—1882）二氏。前者於一八三八年，發表植物發生論（Beiträge zur Phytogenesis），後者於一八三九年發表動植物之構造與滋生（Mikroskopische Untersuchungen über der Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen），述明一切機體，均由細胞所組成，而此細胞即爲構造之實體，生理活動之中心；且動植物之發生，實由一原始細胞，重複蕃殖，漸成爲完全發育時之各種羣體。二氏又謂細胞係一小囊，滿儲液體，有一核浮於其間。寇里克（Rudolf Albert von Kölliker）檢視動物組織，往往見無壁之細胞；其膜壁似爲細胞中之不重要

部分。一八四六年，摩爾(Hugo von Mohl)稱細胞中之液體部分為原形質(protoplasm)，並知其在植物細胞中，有特殊之運動現象。一八六一年，叔爾策(Max Schultze, 1825—1874)確定細胞為含核之生活原形質塊，並知動物細胞中之原形質，實際上與植物細胞相同，均為細胞之重要部分。動植物生命之建築於共同物理基礎，至是乃得大明矣。

生物起原，古有自然發生說(spontaneous generation)，即認生物由無機物產生之說也。赫爾蒙特(van Helmont, 1577—1644)謂以敗布塞儲麥之瓶口，即可產鼷鼠。勒狄(Francesco Redi, 1626—1697)研究自然發生現象，曾作種種試驗，以矯正之。張網防蠅，肉不生蛆，而蠅卵遺於網上，孵之則蛆生，乃以此為生物始於生物之佐證。泥丹(John Turberville Needham)以為微生物由於無機物發生，而較大之生物，又由此微生物蛻化而來。因納易腐物質於瓶內，以木栓塞其口，而置之熱灰之上，以殺盡其有機體，閱日視之，仍有微小生物產生其中。斯帕蘭紮泥(Lazaro Spallanzani, 1729—1799)頗致疑於泥氏之結果，乃密封瓶口，俾無由外傳入之機會，且沸之至一小時之久，後用顯微鏡觀察之，竟

不見一微小生物此試驗之結果，似已表示自然發生，不能認爲實有其事。一八二七年，貝爾（Karl Ernst von Baer, 1792—1876）發見哺乳類之卵，謂高等動物之以卵生殖，正與下等動物相同。人類之卵，其直徑不過二百分之一吋，在最初期中，其外觀無異於他動物。由是比較胚胎學（comparative embryology）漸以發生，而生物始於生物之說，又得一種新勢力矣。

一八五八年，坡瑟（Henri Charles Georges Pouchet）發表原始機體之自然發生(Note on Vegetable and Animal Proto-organism spontaneously generated in artificial air and in oxygen Gas）一文，詳述培養劑倘預加高熱，而後置諸純粹養氣中，微小生物仍可產生。並聲稱試驗時異常縝密，期免錯誤。巴士特(Louis Pasteur, 1822—1895)以爲空氣本體，不能產生微小生物，但在空氣中之黴菌（germs）實爲其起原，乃以精密試驗，證明培養劑若無空氣傳來之黴菌，並不能發生微小生物。巴氏又探考釀母發酵時之各期狀況，進而研究腐敗及疾病起源，知均由黴菌所致，因創黴菌說（germ theory）而

爲微生物學(bacteriology)之開山祖。科和(Robert Koch, 1843—1910)繼起研究，於一八七六年培養脾熱症(anthrax)菌種入動物體內，而得同樣之疾病，徵菌之爲疾病起因，而非其結果，得此，可無懷疑之餘地矣。

是時動植物之生理作用，亦多闡發。索緒耳(De Saussure, 1740—1799)以綠色植物，置在含碳氣之空氣中，並曝於日光之下，權之則其重量增加，而所增重量之大部，實來自氣碳及土壤中之水分。利比喜(Justus von Liebig, 1803—1873)認定葉綠素在同化作用(assimilation)時，根本上極爲重要。薩克斯(Julius von Sachs, 1832—1897)亦謂植物曝於日光之下，其能分解碳氣而發生養氣者，祇爲含葉綠素之器官；並逃明植物器官之生長營養與葉綠素之活動力，有密切之關係。部辛高(Boussingault)根據定量測驗，探考植物之生活狀態，其結論謂欲綠色植物之繁茂，則土壤中之氮化物，實爲必需。米勒(Johannes Müller, 1801—1858)應用物理與化學之方法，研究動物生理，下等與高等並重。又謂神經細胞與神經纖維，當有相關連之處。其徒赫爾夢霍斯(Hermann Ludwig Fer

dinand von Helmholtz, 1821—1894）藉顯微鏡之力，在蛭（leeches）蟹（crabs）之神經節（ganglia），發見神經纖維係由細胞生出。所著筋肉活動期間之新陳代謝（Metabolism during Muscular Activity）一文可爲生物學史上之一大貢獻。與赫氏同時之生理大家，有伯爾拿（Claude Bernard, 1813—1878）者，發見膵臟液（pancreatic secretion）之重要，而以肝之澱粉功用（glycogenic function of the liver）爲尤甚。此爲內分泌說（hormone theory）之肇端。內分泌者，係動物體內諸器官及其他三四特種器官，如甲狀腺（thyroid）副腎（adrenal bodies）等所產生之一種特別化學的物質，輸入血液，而循環於身體各部。貝力斯（Bayliss）與斯塔林（Starling）曾作種種研究，知全身之調和順適，賴有內分泌之節制作用，故欲保持生命而營其生活，此實非常重要。自是以後，乃知每一器官，非祇有一種功用，其相互間關連複雜，有非夢想所及者。故有以內分泌之發明，爲生理學大革命之導火線者，誠未過也。

雖然，歷來生物學上之最重大發見，而其勢力又足支配全學術界者，當推進化論。生物

進化之研究，實昉自希臘諸先哲，而首具正當見解者，則爲伊拉斯莫斯達爾文（Erasmus Darwin, 1731—1802），查理達爾文（Charles Darwin）之祖也。氏嘗謂一切熱血動物，皆出一系，因欲免除困苦之激刺，尋求快慰之感覺，乃有變異之發生，而此種獲得之形態或性癖（propensities），輒多遺傳於嗣裔。又本此激刺與感覺之觀念求諸植物，亦頗適合。故動物與植物之進化，極相類似。歌德（Johann Wolfgang Goethe, 1749—1832）研究生物之變形（metamorphosis），以爲一切生物，依永存定律而發生；其原始形態之向得保存至今者，僅占最少數，故由形態可測定生活狀況，而生活狀況實予形態以莫大之影響。拉馬克（Chevalier de Lamarck, 1744—1829）初攻植物學，繼治動物學，潛心研究，發爲有系統而有根據之進化論。嘗謂習慣造成器官，非器官造成習慣；個體之或有所得，或有所失，悉爲環境所支配，因亦受器官用否之影響。設此獲得之變異，爲雌雄二性所共有，則代代遺傳於新生之個體，積久漸著，以成新種。氏於動物注重環境之間接作用，而於植物，則注重其直接作用，蓋前者能起反應而自爲適合，後者則無神經系，遂由環境範製也。

一七九八年，馬爾薩斯 (Thomas Robert Malthus, 1766—1834) 著人口論（Essay on the Principle of Population），頗注重於食物之競爭，謂人口係以幾何的比率而增加，食物則以算術的比率而增加，是以生者常多而所以養生者常不足。動植物界固爲此嚴律所縮小，人類亦決不能幸而或免。達爾文（Charles Darwin, 1809—1882）乃據以立天擇 (natural selection) 之說，以闡明進化之理。其言曰，各種個體生殖之數，既遠過於生存之數，而生存競爭（struggle for existence）又因之相循不已，則在此複雜而萬殊之生物狀況中，其有略起變異，苟於己體有益，雖甚微細，卽得更優之生存機會，而爲天然所選擇；自遺傳原則言之，任何被擇之變種，均有傳留其新異形態之傾向。達氏曾參加卑格爾旅行團（Voyage of the Beagle），調查生物，歷五年之久。返國後，更博考羣書，廣搜事實，卽園丁牧人，亦虛心下問。至一八四二年，始草進化論之概略，計凡二十五頁。一八四四年，增至二百三十頁。一八五九年，曾從事刪潤，成物種由來 (On the Origin of Speces by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for

Life）一書，公布於世。包羅宏廣，引證詳確，實爲集進化論大成之曠代傑作。一八七一年，又有原人（The Descent of Man）之刊行，闡明庶物同原之理，敍述遺傳及雜種（cross）之效，且兼及於性擇（sexual selection）。此與當時宗教信念極不相容，頗多攻擊之者，但眞理終不可泯，曾不幾時，竟得最後之勝利也。窩雷斯（Alfred Russel Wallace, 1823—1913）獨立研究種變之原因，亦從馬爾薩斯之人口論，悟得適者生存（the survival of the fittest）之理，著成變種大異於原種之趨勢（On the Tendency of Varieties to depart indefinitely from the Original Type）一文，詳論物競天擇之烈，否認獲得性(acquired character)之能遺傳。一八八四年，魏司曼(August Weismann, 1834—1914)又創生殖原質繼續說（theory of germinal continuity），將構成生物體之細胞，分爲身體細胞（body cell or somatoplasm）與生殖細胞（germ-cell or germ-plasm）二種；前者爲身體全部各組織及器官之成分，隨個體死亡而消滅；後者祇限於緊要之生殖器官，其核中有所謂染色體（chromosomes）者，負擔遺傳之責任，永遠連續不滅，故物性

之遺傳，全賴生殖細胞，而身體之變異，未能影響於生殖細胞，則後天之獲得性，自不能遺傳於其嗣裔。一八九五年，魏氏更唱導生殖原質選擇說（theory of germinal selection），乃以內部進化之原因，爲有機界進化之要素也。

歌爾通（Francis Galton, 1822—1911）以算學中之統計方法，研究遺傳現象，經精密試驗之結果，創立趨常說（theory of filial regression），即子嗣之特性程度，恆較其親爲小；而較一般爲大，有維持其平均數之傾向。一九〇三年，約罕孫（Johansen）作純系(pure line) 之研究，擇豆之純種中最重與最輕者種植之，收集時各別秤量，不見有何等重量之差異，而與重豆生重豆，輕豆生輕豆之天擇說，不能符合。阿加爾（Agar）與眞檸斯(Jennings) 試諸動物，其結果，亦均與約氏所得者相同。門得爾（Gregor Johann Mendel, 1822—1884）首創雜種試驗之法，以闡明關於遺傳之重要定律。氏嘗取高度不同之豌豆兩種，互相配合，使其繁殖於數代，第一代之雜種，僅能顯現其高或低一方之性質。此一方性質，稱之曰顯著性(dominant)其他一方性質，稱之曰退隱性（recessive character）。

待雜種更自相配合，則所生之第二代雜種，其顯著性與退隱性，常爲3與1之比。可知有一性質，必有一相當單位，生物之所以現種種性質者因各有相當之遺傳單位也。門氏之試驗結果，發表於一八六五年，當時未有人注意及之者。至一九〇〇年，德人科林斯（Karl Correns）奧人折馬克（Erich Tchermak）及荷人得甫里斯（Hugo de Vries），同時各承認其有重大之價值，重行試驗。貝忒孫（William Bateson）復以此方法，施之於動物，亦得同樣之結果，而門氏之說，益得確定。得甫里斯於物種起原，主張不連續之突然變異，而不信細微變異，積久漸著之說。嘗取月見草（evening primrose）栽培多年，產出新種極繁，且能相傳勿改。可見新形變種，乃由現狀一蹴而幾，推其故，實基於內部原因激動所致。此猝變說（mutation theory）者，又爲植物學家所承認，而爲動物學家所拒斥也。

坎麥勒（Paul Kammerer）研究獲得性之遺傳，選取火蛇（fire salamander）行種種試驗。其所得結果，則該動物發生相當之顏色變異，以適應環境之變遷。此種適應，能令其子嗣發生效力。若子與其親境遇相同，則其效力更增大；又若其境遇迥不相同，則其親

所受之效力，在子嗣幼年時期，仍能顯現。德肯(Durkhem)單獨研究，取白蝴蝶（white-butterfly）爲其試驗之資，發見子嗣與其親在同一環境時，其子嗣所感受之應效較烈；若環境各異，其親所受之應效，在子嗣亦仍不消滅，與坎氏之結果正相同也。堪林干（Joseph Thomas Cunningham）又以內分泌（hormones）說明遺傳之理；謂體內各器官及組織，均有內分泌之產生，輸入於血液之中，則對於遠距離之器官或組織，自可發生意想不到之影響。內分泌並非如因子（pangen）之爲理想的物質，乃一種確定之化合物，可以提取而爲試驗之用；故當一器官或組織受新環境之刺激，而生新特性時，其內分泌之能起變化也，可無疑矣。內分泌對於遺傳之響影如何，尙有待學者之探討，將來優生問題及人生改良問題之解決，或即惟此是賴。故內分泌學不特爲生物學最有希望之一支，其於人類科學之發展，影響當亦非眇也。